Environnement Canada Environment Canada

# *Rapport sur l'état de l'environnement*

91-06646/

*Rapport sur l'état de l'environnement*

# Perspective canadienne sur la pollution atmosphérique

J. Hilborn

État de l'environnement
Environnement Canada

M. Still

Service de l'environnement atmosphérique
Environnement Canada

Also available in English under the title *Canadian Perspectives on Air Pollution*

Rapport EDE n° 90-1
Septembre 1990

Pensez à recycler

Publié avec l'autorisation du ministre de l'Environnement
© Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1990
N° de catalogue : En1-11/90-1F
ISBN 0-662-96086-6
ISSN 1180-3177

Photo de la couverture : Ken Patterson
Composition et conception : Ove Design Ottawa

**Données de catalogage avant publication (Canada)**

Hilborn, J. (John)

Perspective canadienne sur la pollution atmosphérique

(Rapport sur l'état de l'environnement,
ISSN 1180-3177; Rapport EDE n° 90-1)
Publ. en anglais sous le titre :
Canadian Perspectives on Air Pollution.
Comprend des références bibliogr.
ISBN 0-662-96086-6
N° de cat. MAS En1-11/90-1F

1. Air — Pollution — Canada. 2. Polluants — Canada.
3. Environnement — Surveillance — Canada.
4. Hygiène du milieu — Canada. 5. Pollution — Aspect de l'environnement — Canada. I. Still, M (Malcolm).
II. Canada. Environnement Canada. III. Titre.
IV. Collection : Rapport sur l'état de l'environnement;
Rapport EDE n° 90-1.

TD883.7.C3H5414 1990 363.73'92'0971 C90-098610-7

# Avant-propos

L'environnement constitue pour nous le seul « système entretenant la vie », le seul milieu dans lequel nous puissions vivre. Or, au seuil du XXIe siècle, certains indices révèlent que nous mettons ce milieu en péril.

Le Canada, comme plusieurs autres pays, a institué un programme de production de rapports sur l'état de l'environnement à l'intention des Canadiens qui s'intéressent à cette question. Il peut s'agir, par exemple, de fiches d'information, d'études, de bulletins et de bases de données; le programme prévoit également la publication de rapports nationaux quinquennaux, le prochain devant paraître en 1991. Ce programme se veut un partenariat dans le cadre duquel on fera de plus en plus appel à la contribution des autorités fédérales, provinciales et territoriales, et à celle de l'entreprise privée, des universités, des organismes non gouvernementaux et de tous les citoyens.

L'analyse et l'interprétation objectives et consciencieuses des données recueillies nous permettront de surveiller l'état de l'environnement et d'observer les principales tendances qui se dégagent à cet égard. Il sera tout aussi important de déterminer les causes de ces tendances que d'agir en vue de préserver et de mettre en valeur le milieu naturel. Une meilleure connaissance de l'état de l'environnement devrait nous inciter à protéger le milieu naturel en ayant recours à des processus décisionnels et gestionnels améliorés.

*Perspective canadienne sur la pollution atmosphérique* se penche sur un aspect de l'état de santé de notre pays. Pour obtenir des renseignements supplémentaires au sujet des rapports sur l'état de l'environnement, prière d'écrire à l'adresse suivante :

État de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

# Sommaire

À l'aube de la dernière décennie du XXe siècle, la communauté mondiale est toujours aux prises avec un nombre sans précédent de problèmes touchant la qualité de l'air et la pollution atmosphérique. Non seulement la qualité de l'air se détériore-t-elle localement à mesure que tous les pays contribuent à la pollution, mais de plus en plus d'indices confirment que la composition de l'atmosphère dans son entier est en train de se modifier rapidement à mesure qu'augmentent les concentrations de polluants.

Ce rapport sur l'état de l'environnement présente les causes de certains problèmes de pollution de l'air aux échelons local et global et leurs effets tant sur la santé que sur le milieu. Il décrit ensuite de façon détaillée les sources, les émissions, les concentrations et les effets sur l'environnement et la santé de six polluants atmosphériques courants : les particules en suspension dans l'air, l'anhydride sulfureux, le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote, l'ozone de la basse troposphère et les hydrocarbures. Les caractéristiques des polluants atmosphériques toxiques sont plus difficiles à décrire, et ce sont plutôt les différentes façons d'étudier ces polluants qui sont illustrées dans le présent rapport : par élément chimique, comme dans le cas du plomb; par catégorie de substances chimiques, dont les hydrocarbures aromatiques polycycliques; d'après le mode de pollution, par exemple, la combustion du bois de chauffage résidentiel; et par secteur géographique, par exemple, Junction Triangle, une petite zone industrielle qui possède des sources de pollution locales.

Plusieurs problèmes de pollution atmosphérique à l'échelon tant régional que mondial sont importants dans la vie des Canadiens. Ceux qui sont examinés ici portent sur les pluies acides, la pollution dans l'Arctique, l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, l'« effet de serre » ou réchauffement du globe, et la radioactivité atmosphérique. Le rapport traite enfin de l'importance de ces problèmes aux yeux des Canadiens et des efforts accomplis par les gouvernements pour prévenir la pollution de l'air au moyen de mesures législatives.

**Le réchauffement de la planète coûtera cher!**

**Le Canada devrait créer de nouvelles forêts pour éliminer les gaz carboniques**

**Montréal rejette tous ses fréons et halons assassins de la couche d'ozone**

**Les carburants alternatifs font leur chemin!**

**Effet de serre : on a sous-estimé les difficultés à réglementer les émissions de gaz carbonique**

# Table des matières


Remerciements ..... 9

*Chapitre I*

**Les origines de la pollution atmosphérique** ..... **11**

Introduction ..... 11
L'atmosphère primitive ..... 11
Le changement du climat ..... 11
L'atmosphère aujourd'hui ..... 12
Les causes de la pollution atmosphérique ..... 14
Références ..... 18

*Chapitre II*

**Les effets de la pollution atmosphérique** ..... **21**

Introduction ..... 21
Les effets sur la santé ..... 21
*Les effets aigus ou à court terme* ..... 21
*Les effets à long terme* ..... 22
*Les populations vulnérables* ..... 22
*Les études épidémiologiques au Canada* ..... 22
*Les répercussions socio-économiques* ..... 23
Les effets sur le milieu ..... 23
*Les effets sur les végétaux* ..... 23
*Les effets sur les forêts* ..... 24
*Les effets sur la vie animale* ..... 24
*Les effets sur les matériaux* ..... 25
*Les effets sur le climat* ..... 25
Conclusion ..... 25
Références ..... 25

*Chapitre III*

**Les polluants atmosphériques courants** ..... **27**

Introduction ..... 27
Les matières particulaires en suspension dans l'air ..... 29
L'anhydride sulfureux ..... 32
Le monoxyde de carbone ..... 34
Les oxydes d'azote ..... 37
L'ozone de la basse troposphère ..... 39
Les hydrocarbures ..... 43
Références ..... 46

*Chapitre IV*

**Les méthodes applicables à l'étude des polluants atmosphériques toxiques** ..... **49**

Introduction ..... 49

Étude d'un élément chimique : le plomb ..... 49

Étude d'une catégorie de substances chimiques ..... 52

*Les composés organiques volatils* ..... 52

*Les hydrocarbures aromatiques polycycliques* ..... 53

Étude d'une activité : le chauffage au bois ..... 54

Étude d'un secteur géographique donné ..... 56

*Junction Triangle* ..... 56

*Le sud-ouest de l'Ontario* ..... 56

Références ..... 57

*Chapitre V*

**Les grands problèmes régionaux et mondiaux de pollution atmosphérique** ..... **59**

Introduction ..... 59

Les problèmes régionaux ..... 59

*Les pluies acides* ..... 59

*La pollution atmosphérique dans l'Arctique* ..... 69

Les problèmes mondiaux ..... 72

*L'appauvrissement de l'ozone stratosphérique* ..... 72

*Le changement climatique et le réchauffement du globe* ..... 73

*La radioactivité atmosphérique* ..... 75

Références ..... 76

*Chapitre VI*

**Les responsabilités du public et des gouvernements** ..... **79**

La perception du public de la pollution atmosphérique ..... 79

Les règlements sur la pollution atmosphérique ..... 83

Conclusions ..... 84

Références ..... 85

## Liste des figures


1. Structure verticale de la basse atmosphère et changement des températures avec l'altitude ..... 12
2. Demande d'énergies primaires au Canada, 1920–1986 ..... 15
3. Évolution dans la consommation énergétique par habitant, 1970 et 1986 ..... 16
4. Demande énergétique totale d'utilisation finale au Canada, 1970–2005 ..... 17
5. Demande énergétique d'utilisation finale par type de combustible au Canada, 1976–2005 ..... 17
6. Émissions de matières particulaires au Canada, 1970–1985 ..... 30
7. Tendances des concentrations de matières particulaires totales en suspension dans l'air ambiant au Canada, 1974–1987 ..... 31
8. Émissions d'anhydride sulfureux au Canada, 1970–1985 ..... 32
9. Tendances des concentrations d'anhydride sulfureux dans l'air ambiant au Canada, 1974–1987 ..... 33
10. Émissions de monoxyde de carbone au Canada, 1970–1985 ..... 34
11. Nombre des véhicules à moteur à essence et à moteur diesel au Canada, 1970–1985 ..... 35
12. Tendances des concentrations de monoxyde de carbone dans l'air ambiant au Canada, 1977–1987 ..... 36
13. Émissions d'oxydes d'azote au Canada, 1970–1985 ..... 37
14. Émissions prévues d'oxydes d'azote au Canada jusqu'en 2005 ..... 38
15. Tendances des concentrations de dioxyde d'azote dans l'air ambiant au Canada, 1977–1987 ..... 39
16. Formation de l'ozone troposphérique dans des atmosphères non polluée et polluée ..... 40
17. Baisse de la moyenne annuelle des fortes concentrations d'ozone au Canada ..... 41
18. Baisse du nombre d'heures où l'objectif de qualité de l'air d'une heure (82 ppb) pour l'ozone a été dépassé au Canada, 1979–1987 ..... 43
19. Nombre de jours par année où les concentrations d'ozone ont dépassé l'objectif de qualité de l'air établi à 82 ppb pendant une heure ..... 44
20. Émissions d'hydrocarbures au Canada, 1970–1985 ..... 44
21. Répartition des émissions de plomb au Canada, 1978–1995 ..... 50
22. Tendances des concentrations de plomb dans l'air ambiant, tendances des émissions de plomb, et concentrations de plomb dans le sang ..... 51
23. Concentrations totales de matières particulaires en suspension à Whitehorse (Riverdale) en janvier et février 1988 ..... 54
24. Modèle théorique de l'effet tampon du bicarbonate dans le sol et les eaux de surface ..... 61
25. Modèle théorique du dépôt d'acides minéraux et du transport des ions calcium, magnésium, aluminium, sulfate et hydrogène depuis le sol jusque dans les eaux de surface ..... 62
26. Le potentiel des sols et de la roche en place à réduire l'acidité des dépôts atmosphériques au Canada ..... 65
27. Rapports alcalinité–calcium + magnésium dans certains lacs canadiens ..... 66
28. Rapports sulfate–calcium + magnésium en excès dans certains lacs canadiens ..... 66
29. État des eaux de surface dans l'est du Canada, déterminé d'après le rapport alcalinité–calcium + magnésium ..... 67
30. État des eaux de surface dans l'est du Canada, déterminé d'après le rapport sulfate–calcium + magnésium ..... 68
31. Schéma des dépôts annuels moyens de sulfate en Amérique du Nord, 1982–1987 ..... 69
32. Tendances des captures de saumon de l'Atlantique, 1936–1980 ..... 70
33. Tendances des émissions d'anhydride sulfureux dans l'est du Canada, 1970–1986 ..... 70
34. Tendances des concentrations de sulfate et d'acidité dans le lac Clearwater, près de Sudbury, en Ontario, 1973–1986. ..... 70
35. Position de la masse d'air arctique en janvier ..... 71
36. L'ozone atmosphérique ..... 72
37. Production mondiale de chlorofluorocarbures ..... 73

## Liste des figures (suite)


38. L'effet de serre ..... 73
39. Augmentation des concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère ..... 74
40. Le réchauffement du globe ..... 75
41. Pourcentage de la dose d'irradiation en fonction de la source ..... 76
42. Tendances des doses d'irradiation de diverses sources, 1945–1980 ..... 76
43. Résultats d'un sondage sur les problèmes les plus importants au Canada ..... 80


## Liste des tableaux


1. Composition approximative de l'air sec et non pollué de la troposphère ..... 14
2. Ventes de pesticides au Canada, 1986 ..... 18
3. Production quotidienne de résidus urbains par habitant, 1985 ..... 18
4. Concentrations moyennes d'ozone dans les régions rurales et les banlieues pendant la saison de croissance ..... 43
5. Directives et normes provinciales de qualité de l'air pour le plomb ..... 51
6. Comparaison des concentrations de benzène dans l'atmosphère au Canada et aux États-Unis ..... 53
7. Concentrations moyennes de benzo(a)pyrène mesurées à des stations d'échantillonnage au Canada ..... 54
8. Concentrations de particules totales en suspension (PTS) mesurées dans la région de l'Atlantique pendant la saison de chauffage au bois ..... 56
9. Changements survenus dans les émissions d'anhydride sulfureux dans l'est du Canada et le nord-est des États-Unis, l'exportation annuelle de sulfate des bassins versants et le pH des cours d'eau ..... 71
10. Normes relatives aux émissions des véhicules automobiles au Canada ..... 82

# Remerciements

Au cours de la rédaction de ce rapport, les auteurs ont bénéficié de l'appui soutenu de nombreux collègues d'Environnement Canada et d'autres ministères. En plus de revoir le texte et de formuler des commentaires, ces gens ont fourni et interprété des données et ils ont apporté des suggestions utiles sur la portée du rapport, son contenu, ses graphiques, sa mise en pages, etc.

Les auteurs aimeraient souligner l'importante contribution du personnel de la Direction générale de la protection de la santé (Santé et Bien-être social Canada) qui leur a fourni le texte traitant des effets des polluants atmosphériques sur la santé (chapitre II) et de la radioactivité atmosphérique (chapitre V). Les travaux de Jim Withey ont été fort utiles dans la rédaction des sections ayant trait aux effets des polluants atmosphériques courants sur la santé (chapitre III) et aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (chapitre IV).

Lors de la préparation d'un rapport de cette nature, de nombreuses personnes travaillent dans les « coulisses ». Les auteurs aimeraient remercier particulièrement Susanna Erasmo et Carole Lafleur, qui ont dactylographié le rapport; Liliane Primeau, qui s'est chargée des graphiques préliminaires; Jean Séguin, qui a supervisé la production des graphiques dans leur version définitive, de même que la photocomposition et l'impression du document; Marla Sheffer, qui a révisé la version anglaise du rapport; et les réviseurs du Service canadien de la faune, qui ont révisé la version française du document.

Les auteurs tiennent à souligner la contribution des personnes suivantes :

**Conservation et Protection, Environnement Canada**
M.F. Bérard, P. Blancher, T. Chiasson, D. Cope, T. Dann, L. Dwyer, A. Eatock, P. Eaton, A. Finklestein, T. Furmanczyk, M. Goffin, D. Gregor, M. Issavian, T. Kosteltz, J. Kozak, F. Lavallée, T. Leah, H. Leher, V. Marwaha, B. Munson, B. Nadon, P. Paine, C. Prakash, P. Rodgers, I. Scott, A. Sheffield, G. Sherbin, W. Simpson-Lewis, R. Solman, F. Vena, B. Villeneuve, D. Williams, E. Wituschek, D. Woo.

**Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada**
B. Atkinson, L.A. Barrie, B. Beattie, T. Brydges, P. Chen, H. Hengeveld, W.D. Hume, K. Johnstone, J.B. Kerr, K.J. Puckett, D.G. Schaefer, D.M. Whelpdale, J.W.S. Young.

**Santé et Bien-être social Canada**
C. Franklin, M. Inskip, S. McCrindle, D. Meyerhof, M. Raizenne, M. Richardson, J. Withey.

**Énergie, Mines et Ressources Canada**
J. Fortier, B. Macdonald.

**Service canadien des parcs, Environnement Canada**
A. Cloutier.

**Forêts Canada**
J.P. Hall.

**Ministère du Travail de l'Ontario**
M.A. Pietrusiak.

# Unités de mesure

**Superficie**

| | |
|---|---|
| $km^2$ | kilomètre carré |

**Concentration**

| | |
|---|---|
| ppm | partie par million; 1 ppm équivaut à une seconde en 11,57 jours |
| ppb | partie par milliard; 1 ppb équivaut à une seconde en 31,69 ans |
| g/L | gramme par litre |
| $\mu g/m^3$ | microgramme par mètre cube |
| $ng/m^3$ | nanogramme par mètre cube |
| $pg/m^3$ | picogramme par mètre cube |

**Distance, taille, longueur**

| | |
|---|---|
| m | mètre (approximativement 3,3 pieds) |
| µm | micromètre (micron), ou 0,000 001 mètre |
| km | kilomètre, ou 1000 mètres |

**Énergie**

| | |
|---|---|
| GJ | gigajoule, ou 1 000 000 000 de joules, à peu près l'énergie contenue dans 30 litres d'essence |
| PJ | pétajoule ou 1 000 000 000 000 000 de joules, à peu près toute l'énergie utilisée à Toronto ou à Montréal en 17 heures environ |
| TWh | térawattheure, ou 1 000 000 000 de kilowattheures (kWh); une ampoule électrique de 100 watts allumée pendant 10 heures utilise 1 kWh d'énergie électrique |

**Volume**

| | |
|---|---|
| L | litre; le gallon impérial contient environ 4,5 litres |
| dL | décilitre, ou 0,1 litre |
| mL | millilitre, ou 0,001 litre |
| $m^3$ | mètre cube |

**Masse**

| | |
|---|---|
| g | gramme |
| kg | kilogramme, ou 1000 grammes |
| mg | milligramme, ou 0,001 gramme |
| µg | microgramme, ou 0,000 001 gramme |
| ng | nanogramme, ou 0,000 000 001 gramme |
| pg | picogramme, ou 0,000 000 000 001 gramme |
| t | tonne; 1 tonne = 1000 kilogrammes |

# Abréviations

| | |
|---|---|
| BPC | biphényle polychloré |
| CFC | chlorofluorocarbure |
| COV | composé organique volatil |
| DDT | dichlorodiphényltrichloréthane |
| HAP | hydrocarbure aromatique polycyclique (certaines sources utilisent HPA – hydrocarbure polycyclique aromatique) |

*Chapitre 1*

# Les origines de la pollution atmosphérique

## Introduction

À l'aube de la dernière décennie du XX$^{e}$ siècle, la communauté mondiale est toujours aux prises avec un nombre sans précédent de problèmes touchant la qualité de l'air et la pollution atmosphérique. Lorsqu'un pays pollue l'atmosphère à l'intérieur de ses frontières, il crée des problèmes de qualité de l'air qui le concernent directement parce que ces problèmes se répercutent sur la santé et le bien-être de ses citoyens. Mais il arrive aussi que des pays polluent involontairement l'air de leurs voisins. En outre, on accumule de plus en plus de preuves à l'effet que la composition de l'atmosphère en général se modifie rapidement à mesure que les concentrations de polluants augmentent, ce qui risque d'être beaucoup plus grave qu'une détérioration localisée de la qualité de l'air puisque la composition de l'atmosphère est un facteur déterminant du climat terrestre. Le climat influe sur le milieu de vie, le comportement et les activités des humains, et sur des aspects fondamentaux de leur existence, notamment les formes et la répartition de la vie végétale et animale, la durée des saisons de croissance, l'étendue du manteau nival ainsi que la profondeur des lacs et des cours d'eau.

Le présent chapitre décrit les changements atmosphériques et climatiques qui se sont produits avec le temps sur notre planète et traite des processus déclenchés par l'être humain et qui sont à l'origine des problèmes de pollution atmosphérique au Canada.

## L'atmosphère primitive

Depuis leur formation il y a 4,5 milliards d'années, notre planète et l'atmosphère qui l'entoure ont constamment évolué et ce, de façon spectaculaire parfois. Voyons, par exemple, comment la teneur en oxygène de l'atmosphère a varié. D'après les indices recueillis par les biologistes et les géologues, l'atmosphère ne contenait pas d'oxygène au départ. Il semble que les bactéries unicellulaires et les algues bleues aient été les formes de vie prédominantes il y a environ 3,5 milliards d'années. Avec le temps, l'oxygène libéré par ces organismes au cours de leur processus de respiration a donné naissance à une atmosphère riche en oxygène. On croit que cette transition a précédé l'apparition, il y a environ 500 millions d'années, de plantes et d'animaux multicellulaires (McMenamin, 1987). Le processus de photosynthèse (transformation par les plantes du dioxyde de carbone et de l'eau en glucides et en oxygène), qui a commencé à peu près au même moment, a accéléré l'enrichissement en oxygène de l'atmosphère et, par conséquent, la diversification des formes vivantes. Le rayonnement ultraviolet du Soleil, qui atteignait auparavant la surface terrestre sans être atténué, a été absorbé de façon importante par l'oxygène atmosphérique, ce qui a contribué à ramener ses niveaux à ceux que nous connaissons de nos jours.

Les dinosaures, apparus assez tardivement il y a environ 200 millions d'années, ont prospéré jusqu'au moment de leur disparition soudaine et encore mystérieuse il y a quelque 65 millions d'années. Les scientifiques croient que la teneur en oxygène de l'atmosphère a fluctué pendant cette période, mais que l'atmosphère, à l'époque des dinosaures, était déjà sous la puissante influence de cycles biogéochimiques. Au cours de ces cycles, le sol, l'eau et les organismes absorbent et émettent des gaz, exerçant ainsi un effet stabilisateur sur la composition de l'atmosphère et sur le climat de la Terre (Siever, 1974). À l'époque, la planète était beaucoup plus froide que pendant ses années de formation, mais les gaz des couches internes ont continué de s'échapper dans l'atmosphère, comme c'est le cas de nos jours. L'action de la pesanteur, qui empêche la plupart des gaz atmosphériques de s'échapper dans l'exosphère, a rendu l'atmosphère plus dense à proximité de la surface terrestre, avec un air de faible densité en haute altitude. Des forces puissantes, tant physiques que biologiques, ont façonné le caractère de l'air que nous respirons à l'heure actuelle.

Les transformations que la Terre a subies au cours des âges ne sont généralement pas considérées comme catastrophiques. Il s'agit de transformations lentes qui ont mis un temps considérable à s'accomplir. L'atmosphère de la planète est devenue, tout au moins pour l'être humain, de plus en plus hospitalière pendant ces milliards d'années.

## Le changement du climat

On sait que le climat de la Terre s'est modifié radicalement au cours de l'histoire, la première apparition importante de glace s'étant produite il y a plusieurs millions d'années (Ingersoll, 1983). Depuis, il y a eu des périodes récurrentes de glaciation, notamment dans l'hémisphère

Nord, la plus récente ayant culminé il y a quelque 18 000 ans. On croit que la glaciation est due à des changements périodiques de l'orientation du globe terrestre gravitant autour du Soleil, changements qui réduisent la quantité de rayonnement solaire reçue en haute altitude (Covey, 1984) et favorisent ainsi la formation de glace. Les données recueillies sur les fossiles révèlent que, dans un passé plus reculé, la Terre était trop chaude pour permettre à d'aussi vastes étendues de glace de subsister. Le réchauffement graduel qui s'est étalé sur plusieurs milliers d'années au terme du dernier âge glaciaire a déjà été considéré comme un changement climatique brutal. Mais on croit qu'un changement encore plus brusque — un changement important étalé sur plusieurs décennies — s'est produit en Europe et au Groenland vers la fin de la période glaciaire, les échanges thermiques s'intensifiant alors entre les courants océaniques et l'atmosphère et modifiant le climat (Kerr, 1988). La soudaineté de ce changement climatique a été associée à des transitions historiques survenues dans la vie végétale et animale, notamment l'extinction des dinosaures (Crowley et North, 1988).

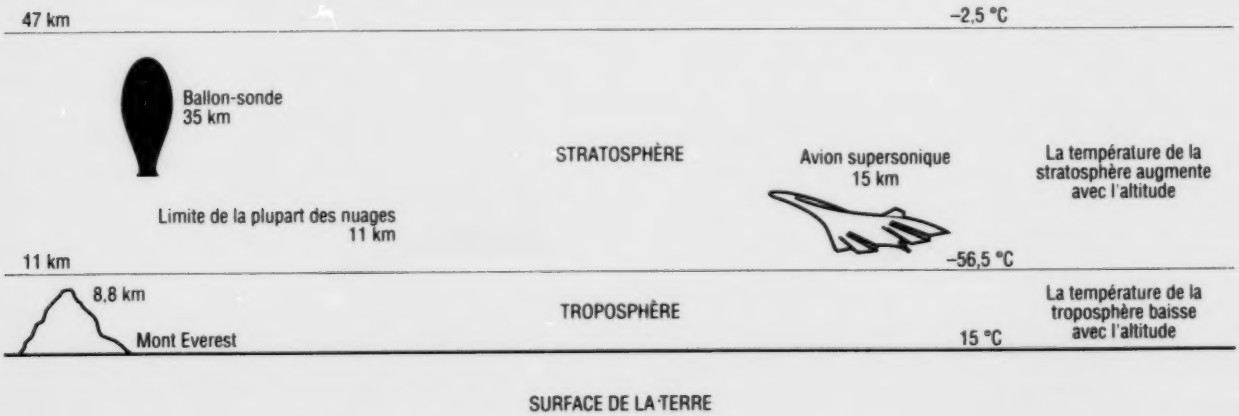
La nature dynamique de l'atmosphère est mise en lumière par son évolution. Nul doute que de nombreux facteurs, en plus des activités humaines, influent sur l'environnement. De nos jours, les forces qui concourent à modifier l'état de l'atmosphère sont le fait non seulement de processus naturels biogéochimiques mais aussi de la pollution. Il reste à déterminer dans quelle mesure notre connaissance des phénomènes passés nous aidera à affronter les changements atmosphériques à venir.

## L'atmosphère aujourd'hui

De nos jours, l'atmosphère terrestre entretient la vie d'environ cinq milliards d'habitants ainsi que d'au moins cinq millions d'espèces végétales et animales (May, 1988). La vie est beaucoup plus agréable lorsque l'air que nous respirons est salubre et que l'atmosphère joue son rôle normal dans la protection de la vie sur la Terre.

Les scientifiques ont établi que l'atmosphère contient plusieurs couches ayant chacune une composition distincte essentielle à sa fonction. Dans la perspective de la pollution de l'air, les deux plus importantes couches sont aussi les plus rapprochées de la Terre : la troposphère et la stratosphère (figure 1). L'air de la troposphère doit être de bonne qualité pour que les animaux respirent et que les plantes croissent, mais cette qualité est compromise sur toute la surface du globe par la présence de polluants atmosphériques. En outre, les concentrations des gaz troposphériques comme le dioxyde de carbone, qui régissent le taux de déperdition thermique de la Terre et tempèrent aussi le climat, augmentent à cause de la pollution. Cela aura pour effet de réchauffer le climat terrestre moyen.

**Figure 1**
**Structure verticale de la basse atmosphère et changement des températures avec l'altitude**




SOURCE : Tiré du cours de météorologie opérationnelle, Service de l'environnement atmosphérique, septembre 1989, Toronto.

REMARQUE : La hauteur de la troposphère varie avec la latitude.

## Les types de substances polluantes

Les polluants atmosphériques se présentent sous les trois formes physiques : solide, liquide et gazeuse. Bien que l'on n'ait pas encore adopté de nomenclature universelle pour désigner les polluants atmosphériques, plusieurs termes sont communément utilisés. Le terme *gaz* désigne des polluants qui n'existent que sous la forme gazeuse dans l'échelle des températures normales de l'air extérieur (approximativement –40 à +40 °C). Quatre des six polluants atmosphériques courants — l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote, le monoxyde de carbone et l'ozone — sont des gaz. L'atmosphère peut contenir également une variété de gaz organiques : le propane utilisé pour les barbecues, par exemple, est un de ces gaz.

Les *vapeurs* constituent la forme gazeuse de substances généralement considérées comme solides ou liquides à la température ambiante. L'air pollué contient habituellement une variété de vapeurs. Ainsi, l'essence, les solvants et la naphtaline sont des substances polluantes parce qu'elles se vaporisent. Les processus biologiques naturels libèrent eux aussi des vapeurs dans l'air. Les vapeurs peuvent rester à l'état libre ou adhérer aux particules qui flottent dans l'air, selon la température.

Les *aérosols* sont de fines particules solides ou gouttelettes de liquide, de la taille des gouttelettes provenant de la pulvérisation de produits d'usage domestique courant comme les fixatifs et les nettoyants pour le four. Les aérosols sont suffisamment petits pour demeurer en suspension dans l'air pendant un certain temps. Des gaz comme l'anhydride sulfureux et le dioxyde d'azote contribuent à la formation d'aérosols lorsqu'ils réagissent chimiquement dans l'atmosphère pour produire des sulfates et des nitrates sous la forme de fines particules.

Le terme *matières particulaires* sert à décrire les matières de l'air pouvant être filtrées; en pratique, cela englobe les aérosols et les particules plus grosses comme la poussière, la suie, la cendre, les fibres et le pollen, dont le diamètre varie de 0,005 à 100 µm. Elles ne sont pas clairement définies comme entités chimiques ou physiques. Il convient de préciser la technique utilisée pour filtrer l'air — notamment la dimension des pores du filtre — si l'on doit comparer des échantillons de matières particulaires. Quand on parle de pollution atmosphérique, les termes *matières particulaires, particules en suspension, particules totales en suspension* et *particules en suspension dans l'air* sont interchangeables. Dans la lutte contre la pollution atmosphérique, ce sont les matières particulaires d'origine non biologique plutôt que celles d'origine biologique (p. ex., le pollen) qui importent.

La vaste catégorie des polluants atmosphériques toxiques comprend différentes classes de composés comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les biphényles polychlorés (BPC), les dioxines, les furanes et les pesticides. À la température ambiante, quelques-uns des composés de ces classes peuvent exister seulement à l'état de vapeurs; d'autres existent tant à l'état de vapeurs que liés à des particules en suspension dans l'air; d'autres enfin ne se trouvent que liés à des particules en suspension dans l'air à la température ambiante. Quand il s'agit de pollution atmosphérique, ces classes de composés s'appellent *composés organiques semi-volatils*.

On emploi le terme *composés organiques volatils* pour désigner collectivement les gaz et vapeurs organiques présents dans l'air, le méthane excepté. *Hydrocarbures* est un terme générique incluant les gaz et vapeurs organiques ainsi que le méthane.

La stratosphère, c'est-à-dire la couche atmosphérique qui se situe, en gros, entre 11 et 47 km au-dessus de la surface de la Terre, contient des gaz qui absorbent une grande partie de l'ardent rayonnement ultraviolet du Soleil avant qu'il ne pénètre dans la troposphère. Les preuves scientifiques récentes indiquent que l'un de ces gaz, l'ozone, est appauvri dans la stratosphère par suite de la pollution atmosphérique et que, donc, la quantité de rayons nuisibles atteignant notre planète augmente (voir le chapitre V). Il n'y a pas si longtemps, le fait de dire que les activités normales de l'espèce humaine pouvaient altérer autant l'atmosphère du globe aurait soulevé un certain scepticisme. Hélas, nous savons maintenant que, en dépit de son étendue, l'atmosphère a été contaminée et altérée par la pollution jusque dans ses zones les plus éloignées.

La composition de l'air sec et non pollué de la troposphère se rapprocherait de celle illustrée au tableau 1 (Stern et collab., 1984). Toutefois, l'air que nous respirons n'est jamais entièrement sec ni dépourvu de polluants. Il contient toujours de la vapeur d'eau, des particules de poussière, de pollen, de sol, de fibres minérales et de cendres, et d'autres gaz comme l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote, l'ozone et le monoxyde de carbone, tous d'origine naturelle. Même dans le meilleur des cas, nous respirons un air qui n'est pas absolument pur. Lorsqu'il est pollué, on y trouve de l'anhydride sulfureux, du dioxyde d'azote, de l'ozone, du monoxyde de carbone, des matières particulaires et des vapeurs et gaz organiques à des concentrations plus élevées que celles existant à l'état naturel dans l'air le plus

**Tableau 1**
**Composition approximative de l'air sec et non pollué de la troposphère**

| Élément | Concentration (ppm)[a] |
|---|---|
| Azote | 780 900 |
| Oxygène | 209 400 |
| Argon | 9 300 |
| Dioxyde de carbone | 315 |
| Néon | 18 |
| Hélium | 5,2 |
| Méthane | 1,0–1,2 |
| Krypton | 1,0 |
| Oxyde nitreux | 0,5 |
| Hydrogène | 0,5 |
| Xénon | 0,08 |
| Vapeurs organiques | ~0,02 |

SOURCE : Stern et collab., 1984.

[a] ppm = partie par million (c.-à-d. la proportion en volume de chaque élément gazeux dans un million de volumes d'air). 1 ppm équivaut à une seconde en 11,57 jours.

pur; ces substances constituent ce que l'on appelle communément les *polluants atmosphériques courants*. Bien que ces derniers soient peu nombreux, on compte des milliers d'autres substances qui pourraient polluer l'air. Celles-ci, dont le plomb et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), sont appelées *polluants atmosphériques toxiques* parce que leur inhalation, même à petite dose, peut être nocive, et parce que beaucoup d'entre elles ne sont pas présentes à l'état naturel dans l'air pur. Elles sont essentiellement des produits, sous-produits et déchets de notre ère technologique.

Il existe d'autres polluants atmosphériques qui n'appartiennent pas aux catégories des polluants courants et toxiques. Ainsi, les gaz comme le dioxyde de carbone et le méthane, qui régissent le taux de déperdition thermique de la Terre, sont appelés *gaz à effet de serre*, et des gaz comme les chlorofluorocarbures et les halons, qui appauvrissent la couche d'ozone de la stratosphère, sont appelés *substances destructrices de la couche d'ozone* (chapitre V).

## Les causes de la pollution atmosphérique

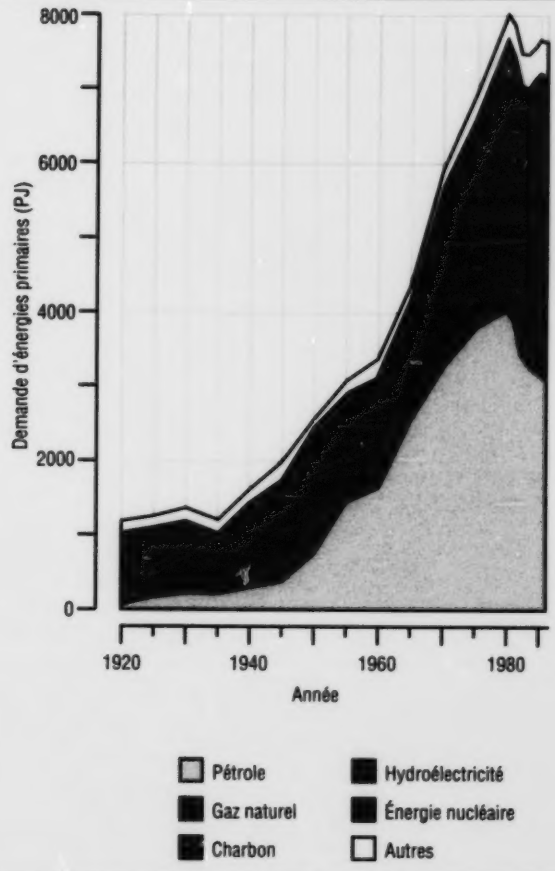
Quelles sont les activités humaines à l'origine des polluants dans l'atmosphère? Une contribution importante provient des activités directement liées à la production et à la consommation énergétiques. L'énergie est essentielle à tous les aspects de la vie. Il en faut de grandes quantités pour chauffer et refroidir l'intérieur des habitations et des immeubles, pour obtenir nourriture et eau, pour faire fonctionner les automobiles et les machines ainsi que l'équipement utilisé dans les procédés industriels et manufacturiers. La survie et les progrès exigent une disponibilité ininterrompue de l'énergie (Commission mondiale sur l'environnement et le développement, 1988). Néanmoins, il faudra satisfaire ces besoins avec des moyens plus respectueux de l'environnement que par le passé, étant donné que l'exploitation et l'utilisation de l'énergie ont eu des répercussions graves sur la santé et la sécurité des personnes et sur la qualité de l'environnement dans le monde entier (Comité consultatif de la Confluence énergétique, 1988).

Les coûts de l'énergie et la santé de l'économie sont des facteurs déterminants de la quantité d'énergie utilisée et des moyens de l'exploiter. Les prix influent sur la demande énergétique, surtout quand ils fluctuent considérablement. Ils influent aussi sur la croissance de tous les secteurs de l'économie. Même quand les prix sont relativement stables, la croissance économique ralentit lorsque la demande énergétique fléchit, et inversement (Office national de l'énergie, 1988).

Vers 1980, le pétrole avait atteint des prix élevés et la baisse de la demande, associée à un ralentissement mondial de l'économie, a entraîné des changements dans les types d'énergie utilisés (figure 2). L'utilisation accrue d'autres combustibles comme le gaz naturel, de même que l'établissement de mesures d'économie d'énergie et une lutte plus efficace contre la pollution ont contribué à la tendance générale à la baisse de certains polluants atmosphériques courants liés à la consommation de l'énergie. Cependant, l'utilisation accrue de combustibles comme le charbon et le bois peut aggraver certains problèmes de pollution atmosphérique ou en faire naître de nouveaux. Par exemple, une grande partie du charbon de la planète présente une forte teneur en soufre, et sa combustion produit de l'anhydride sulfureux, un polluant qui engendre de nombreux et graves problèmes de pollution atmosphérique au Canada. La popularité croissante du chauffage au bois entraîne une exposition de plus en plus grande à la fumée de bois, qui contient des matières particulaires auxquelles sont liés des polluants atmosphériques toxiques. Toute augmentation de la consommation de combustibles fossiles accentuera les émissions de dioxyde de carbone, un gaz à effet de serre contribuant au réchauffement de la planète et au changement du climat.

La demande énergétique future aura donc des répercussions importantes sur la qualité de l'air. Les Canadiens figurent parmi les plus grands consommateurs d'énergie du monde (figure 3), en partie à cause de la rigueur du climat et de l'étendue du pays (grandes distances à parcourir), et en partie à cause d'une utilisation énergétique inefficace (Comité consultatif de la Confluence énergétique, 1988). La demande énergétique a atteint un sommet en 1980 et, par suite de la hausse des prix du pétrole, a reculé d'environ 8,5 % entre 1980 et 1983, une période de récession mondiale. La demande a ensuite augmenté d'environ 7,7 % de

**Figure 2**
**Demande d'énergies primaires au Canada, 1920–1986**




SOURCE : Données fournies par Jean Fortin, Énergie, Mines et Ressources Canada.

REMARQUE : 1 PJ = $10^{15}$ joules, soit environ 165 000 barils de pétrole. La demande d'énergies primaires représente le total de toutes les utilisations d'énergie au Canada et comprend l'énergie utilisée par le consommateur final, les utilisations intermédiaires dans la transformation d'une énergie en une autre, et l'énergie utilisée par les fournisseurs qui approvisionnent le marché.

1983 à 1986 au cours de la reprise économique, principalement à cause des besoins accrus de l'industrie et des transports. On prévoit que la demande énergétique continuera d'augmenter au moins jusqu'en 2005 (figure 4). L'ampleur de la hausse dépendra des prix du pétrole et de la croissance économique.

Au cours des 10 ou 15 dernières années, les consommateurs ont cependant adopté des habitudes d'économie d'énergie par crainte d'une future hausse des prix. Les habitations sont mieux isolées, des véhicules et des appareils consommant moins d'énergie ont fait leur apparition sur le marché, les programmes gouvernementaux ont préconisé l'économie d'énergie, l'éclairage superflu a été restreint, et les consommateurs ont été incités à recourir à des sources d'énergie plus efficaces comme l'électricité et le gaz naturel. À l'avenir, il y aura une plus grande utilisation d'énergie, même si l'on prévoit que l'efficacité de cette utilisation augmentera de 0,7 à 1,0 % par an entre 1986 et 2005 (Office national de l'énergie, 1988), et cette consommation accrue doit être prise en compte dans les prévisions sur la qualité de l'air.

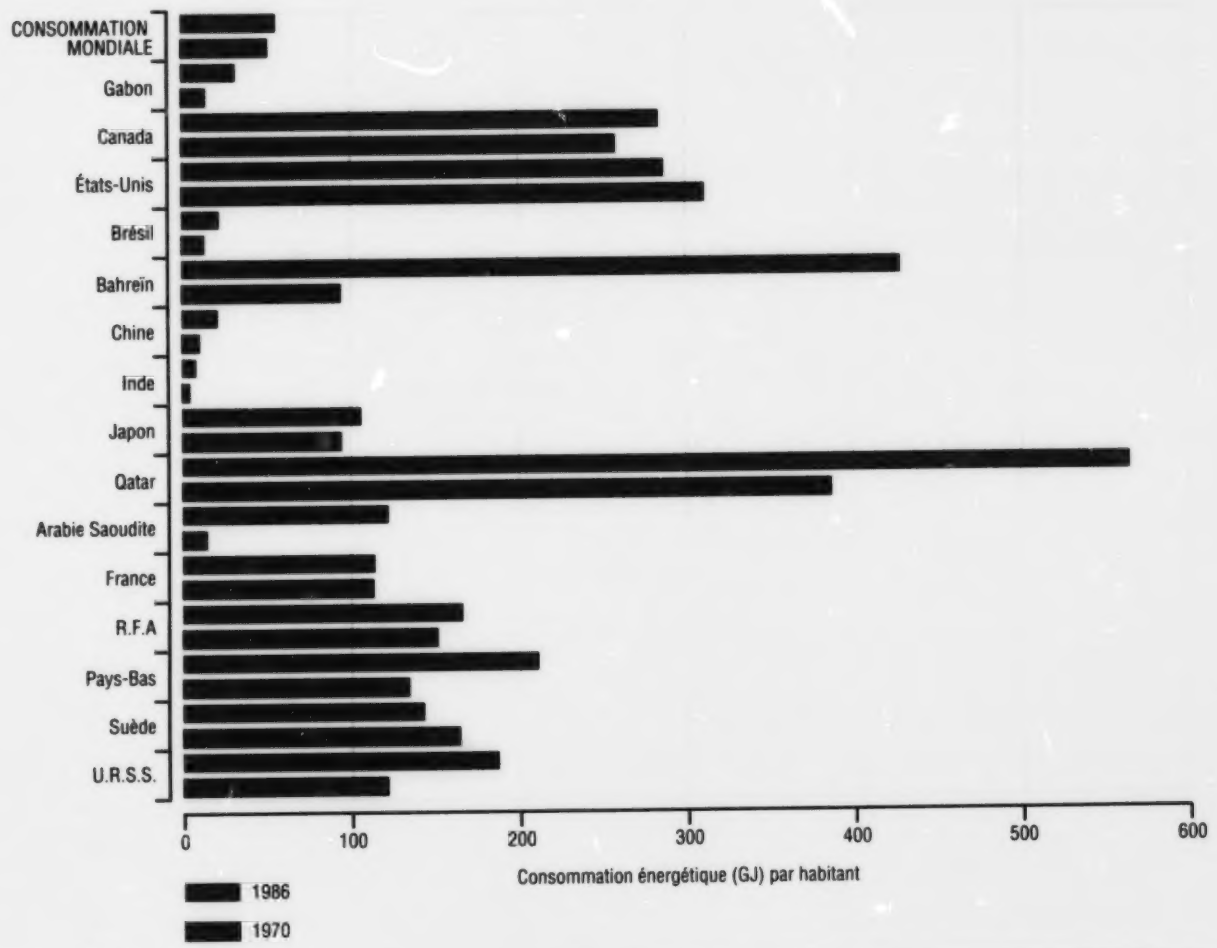
Les changements prévus dans les types d'énergie utilisée ont aussi des répercussions importantes sur la pollution de l'air (figure 5). D'ici 2005, l'électricité répondra à 21 % de la demande énergétique canadienne. On prévoit que la production d'électricité augmentera de 36 à 51 %, passant de 457 TWh en 1986 à 620–687 TWh en 2005. Du point de vue de la pollution atmosphérique, la question importante est de savoir comment l'électricité sera produite. Ainsi, on prévoit que les centrales alimentées au charbon doubleront leur production entre 1986 et 2005, mais celle-ci restera inférieure à 20 % de la production totale. Pendant la même période, on prévoit que l'électricité produite par les centrales nucléaires connaîtra une augmentation de l'ordre de 50 à 68 %. Ces deux types de centrales constituent des sources possibles de radioactivité atmosphérique.

Il existe d'autres causes de pollution atmosphérique sans lien direct avec la production et la consommation énergétiques. La production industrielle de produits chimiques et minéraux, la fabrication et l'emploi de produits de consommation, les techniques agricoles et forestières, le traitement et l'élimination des déchets peuvent engendrer des problèmes de pollution de l'air parce que ce sont des sources de polluants atmosphériques tant toxiques que courants. La demande de ces produits et services reflète le mode de vie et les attitudes des consommateurs.

Il est difficile de prévoir ce que seront la production de l'industrie chimique et les émissions de polluants atmosphériques toxiques par cette industrie au Canada. En raison de ses liens étroits avec la production de biens de consommation, l'industrie chimique est soumise aux caprices de l'économie. Sa production varie énormément d'une année à l'autre au Canada, en partie à cause de l'évolution du taux de croissance de la dépense de consommation. Les rejets accidentels de produits chimiques sont imprévisibles. En outre, comment quantifier les substances chimiques rejetées par les fabricants de produits plastiques, par les petites entreprises comme les teintureries et par les particuliers qui peignent les murs et vernissent les parquets de leur maison?

Les changements dans la dépense de consommation et dans la concurrence étrangère se répercutent également sur l'industrie minière. Cette industrie, qui comprend l'exploitation minière et la production de métaux comme

**Figure 3**
**Évolution dans la consommation énergétique par habitant, 1970 et 1986**



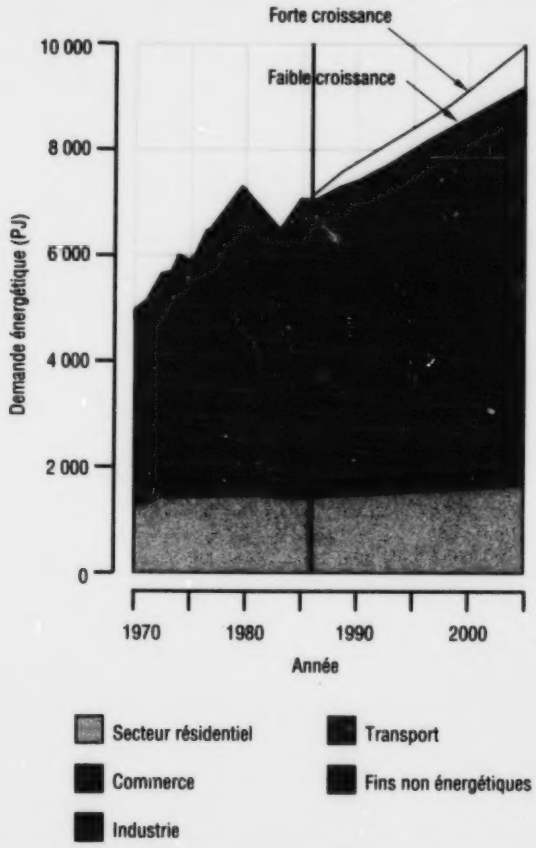

SOURCE : World Resources Institute/Institut international pour l'environnement et le développement, 1988.

REMARQUE : 1 GJ = $10^9$ joules. La consommation représente les sources énergétiques commerciales seulement. Les données sur la consommation de bois de chauffage et de biomasse, première source d'énergie domestique dans de nombreux pays en développement, ne sont pas comprises.

l'aluminium, le cuivre, le nickel, le zinc et le fer, représente une source importante des émissions de matières particulaires et d'anhydride sulfureux et, selon les procédés utilisés, peut aussi être à l'origine d'émissions de divers polluants atmosphériques toxiques.

Le plus grave problème de pollution atmosphérique lié à l'agriculture et à la foresterie demeure l'emploi de pesticides. Près de 33 000 t d'ingrédients actifs homologués en vertu de la *Loi sur les produits antiparasitaires* ont été vendues au Canada en 1986 (tableau 2). Les pesticides organochlorés comme le DDT et le chlordane sont particulièrement préoccupants. On les a abondamment utilisés dans le monde et ils se sont répandus partout sur la planète, en partie à cause du transport atmosphérique à grande distance. Bien que l'on ait restreint l'utilisation de ces produits ces dernières années, leur stabilité à long terme dans le milieu a entraîné l'apparition d'un processus complexe d'échanges entre l'atmosphère, le sol et les eaux de surface. Par conséquent, on trouve communément des pesticides organochlorés dans tous les milieux des latitudes moyennes tout comme dans les milieux subarctique et arctique, notamment chez les baleines, les ours blancs et les phoques

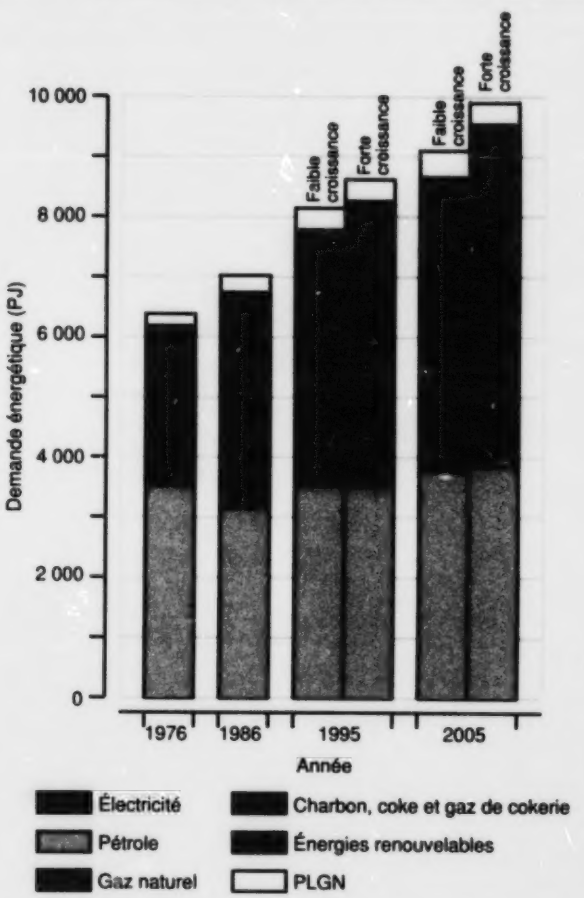
**Figure 4**
**Demande énergétique totale d'utilisation finale au Canada, 1970–2005**




SOURCE : Office national de l'énergie, 1988.

REMARQUE : 1 PJ = $10^{15}$ joules, soit environ 165 000 barils de pétrole. La demande énergétique d'utilisation finale comprend l'énergie utilisée pour la consommation finale à des fins résidentielles, commerciales, industrielles et de transport, et les hydrocarbures utilisés à des fins non énergétiques, par exemple, comme matière première dans l'industrie pétrochimique. La croissance faible repose sur l'hypothèse d'une faible croissance économique et de prix mondiaux peu élevés pour le pétrole. La croissance forte est fondée sur l'hypothèse d'une forte croissance économique et de prix mondiaux élevés pour le pétrole. La demande de 1970 à 1987 est la demande réelle, et celle de 1987 à 2005 est une projection.

**Figure 5**
**Demande énergétique d'utilisation finale par type de combustible au Canada, 1976–2005**




SOURCE : Office national de l'énergie, 1988.

REMARQUE : 1 PJ = $10^{15}$ joules. PLGN : produits liquides extraits du gaz naturel, soit les hydrocarbures éthane, propane, butanes et pentanes, ou un mélange de ceux-ci. Énergies renouvelables : bûchettes de chauffage (déchets ligneux, écorce, sciures), lessives de pâte épuisées (sous-produits combustibles de la fabrication de la pâte), bois, énergie solaire, résidus urbains et vapeur. Les croissances faible et forte sont expliquées à la figure 4, de même que la demande énergétique d'utilisation finale.

(Norstrom et Muir, 1989). La découverte, d'après l'analyse de la neige, de flux comparables de pesticides tout autant dans l'Arctique que dans les régions plus tempérées du sud du Canada montre l'importance du transport atmosphérique. Les concentrations de pesticides sont généralement plus faibles dans l'Arctique que sous les latitudes moyennes. La contribution du dépôt atmosphérique à la charge totale de pesticides dans l'Arctique demeure inconnue. Les processus qui sont en cause dans le transport des pesticides dans l'Arctique le sont également dans le transport des polluants industriels à l'origine du phénomène appelé *brume arctique* (voir le chapitre V).

Le traitement et les méthodes d'élimination des déchets peuvent également polluer l'air. Les quelque 750 millions de tonnes de déchets solides produits au Canada

**Tableau 2**
**Ventes de pesticides au Canada, 1986**

| Catégorie[a] | Quantité d'ingrédient actif (t) |
|---|---|
| Herbicides | 24 687 |
| Insecticides | 2 857 |
| Fongicides | 3 385 |
| Fumigants | 1 403 |
| Divers[b] | 636 |
| Total | 32 968 |

SOURCE : D'après les résultats d'une étude conjointe d'Agriculture Canada et d'Environnement Canada sur les pesticides (Environnement Canada, 1987).

[a] Les produits de préservation des matériaux et du bois, les désinfectants non agricoles et le pesticide bactérien *Bacillus thuringiensis* ne sont pas inclus dans l'étude.

[b] La catégorie « Divers » comprend les rodenticides, les répulsifs, les inhibiteurs de croissance, les huiles agricoles en aérosol, etc.

en 1980 étaient répartis de la façon suivante : environ 1,7 % (13 000 000 t) de résidus urbains, 8,1 % (61 000 000 t) de déchets industriels et 90,2 % (676 000 000 t) de déchets provenant de la production énergétique, de l'agriculture, de l'exploitation minière, de la démolition, du dragage et du traitement des eaux usées (OCDE, 1985). En 1985, la quantité des résidus urbains était évaluée à 16 000 000 t, soit une augmentation de 27 % (OCDE, 1989). Les Canadiens se placent parmi les plus grands producteurs de résidus urbains par habitant (tableau 3).

L'incinération des déchets peut entraîner la pollution de l'air. Toutefois, au Canada, seulement 8 % (plus de 1 000 000 t) des résidus urbains sont incinérés, 2 % sont recyclés et 90 % sont déposés dans les décharges. Ces dernières émettent une quantité inconnue de polluants atmosphériques pendant la lente décomposition des déchets. En 1988, cinq grands incinérateurs (municipaux ou industriels) et de nombreux petits incinérateurs étaient exploités au Canada (Finklestein, 1989). Pour réduire les émissions, on a équipé la plupart des incinérateurs de dispositifs antipollution comme des dépoussiéreurs électriques (où l'on soumet à des tensions élevées des aérosols qui sont ensuite captés par des plaques de charge opposée), des filtres à sacs (très gros filtres) et des lessiveuses à chaux (dispositifs qui humidifient et neutralisent les aérosols avec une solution de chaux avant de les recueillir par collision sur des surfaces solides). Les polluants des incinérateurs de résidus urbains soulevant des préoccupations sont les dioxines et les furanes, les métaux, les gaz acides (comme le chlorure d'hydrogène) et le monoxyde de carbone.

D'après les estimations du volume des déchets produits au Canada en 1986, environ six millions de tonnes étaient des déchets dangereux. Le quart se composait de matières organiques. Des industries possèdent et exploitent des incinérateurs où elles détruisent une partie des déchets dangereux en vertu de permis délivrés par les gouvernements provinciaux. Il existe trois autres grands incinérateurs — au Québec, en Ontario et en Alberta — où les déchets dangereux peuvent être éliminés. Le type de déchets dangereux que peut traiter chaque incinérateur varie. Ainsi, l'incinérateur de l'Alberta est le seul du Canada qui soit autorisé à incinérer les BPC, pour ne citer qu'un exemple trop célèbre de déchets dangereux. Malgré la très grande efficacité de l'incinération dans la destruction des déchets dangereux, le public en général s'oppose à la construction des incinérateurs. Le transport et le stockage des déchets dangereux qui attendent d'être éliminés peuvent être à l'origine de rejets accidentels dans l'atmosphère.

**Tableau 3**
**Production quotidienne de résidus urbains par habitant, 1985**

| Pays | Quantité (kg) |
|---|---|
| États-Unis | 2,0 |
| Canada | 1,7 |
| Norvège | 1,3 |
| Suisse | 1,0 |
| Royaume-Uni | 1,0 |
| Suède | 0,9 |
| Allemagne | 0,9 |
| Japon | 0,9 |

SOURCE : U.S. Environmental Protection Agency, 1988

## Références


Comité consultatif de la Confluence énergétique. 1988. Les Canadiens et l'énergie au seuil du XXIe siècle. Préparé par Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa.

Commission mondiale sur l'environnement et le développement. 1988. Notre avenir à tous. Montréal, Éditions du Fleuve.

Covey, C. 1984. L'orbite de la terre et les périodes glaciaires. Pour la science, 78:22-31, avril 1984.

Crowley, T.J., et G.R. North. 1988. Abrupt climate change and extinction events in Earth history. Science, 240:996–1002.

Environnement Canada. 1987. Loi sur les contaminants de l'environnement. Enquête auprès des fabricants de pesticides homologués. Gazette du Canada, Partie I, 4 avril, Ottawa.

Finklestein, A. 1989. Communication personnelle, juin, Environnement Canada.

Ingersoll, A.P. 1983. L'atmosphère. Pour la science, 73:122–137, novembre 1983.

Kerr, R.A. 1988. Linking Earth, ocean and air at the AGU. Research news. Report on the American Geophysical Union 1988 annual fall meeting. Science, 239:259–260.

May, R.M. 1988. How many species are there on Earth? Science, 241:1441–1449.

McMenamin, M.A.S. 1987. La multiplication des espèces animales. Pour la science, 116:90–98, juin 1987.

Norstrom, R.J., et D.C.G. Muir. 1989. Geographical and temporal trends in persistent organochlorine contaminants in Canadian Arctic marine ecosystems. Rapports et procès-verbaux des réunions, Conseil international pour l'exploration de la mer, 188:253.

OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). 1985. Données OCDE sur l'environnement : compendium 1985. Paris, France.

OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). 1989. Données OCDE sur l'environnement : compendium 1989. Paris, France.

Office national de l'énergie. 1988. L'énergie au Canada : offre et demande, 1987–2005. Ottawa.

Siever, R. 1974. The steady state of the Earth's crust, atmosphere and oceans. Scientific American, 230:72–79.

Stern, A.C., D.B. Turner, R.W. Boubel et D.L. Fox. 1984. Fundamentals of air pollution. 2e éd., Academic Press, Orlando, FL.

U.S. Environmental Protection Agency. 1988. Characterization of municipal solid waste in the United States, 1960 to 2000 (mise à jour : 1988). Rapport EPA/530–SW–88–033, Washington, DC. Rédigé pour l'U.S. EPA par Franklin Associates Ltd.

World Resources Institute/Institut international pour l'environnement et le développement. 1988. World resources 1988–1989. Basic Books Inc., New York, NY.

*Chapitre II*

# Les effets de la pollution atmosphérique

## Introduction

Pourquoi la pollution atmosphérique revêt-elle autant d'importance? Sans air propre, les objectifs visant à assurer aux générations à venir un environnement sain dans lequel elles pourront vivre sainement ne sauraient être atteints. La pollution de l'air nous est nuisible de mille et une façons. Elle porte directement atteinte à la santé, au milieu naturel et aux matériaux, et il ne faut pas oublier, au moment de déterminer son effet global, les coûts économiques moins tangibles associés à la perte de productivité, à l'épuisement des richesses naturelles et aux perturbations sociales.

## Les effets sur la santé

Il ne fait pas de doute que, vers le milieu du XX$^{e}$ siècle, la pollution atmosphérique a constitué une menace directe à la santé. En 1930, un « brouillard meurtrier » a causé la mort de 64 personnes dans la vallée de la Meuse, en Belgique; en 1948, un accident analogue a entraîné la mort de 20 personnes à Donora, en Pennsylvanie. En décembre 1952, quelque 4000 décès ont été signalés à Londres, en Angleterre, par suite d'un brouillard de quatre jours. Après ces accidents et d'autres de même nature, on a pris des mesures rigoureuses tant en Amérique du Nord que dans une grande partie de l'Europe pour lutter contre la pollution atmosphérique. Au Canada, bien que l'air soit beaucoup plus salubre qu'il y a 20 ou même 10 ans, on n'en continue pas moins de se préoccuper de certains polluants atmosphériques qui pourraient nuire à la santé de façon plus insidieuse.

La gravité de la pollution atmosphérique et ses effets sur la santé varient considérablement. Les effets aigus se manifestent immédiatement ou à peine quelques jours après l'exposition, tandis que les effets à long terme peuvent passer inaperçus pendant des mois ou des années. Les effets nocifs sur la santé diffèrent selon les polluants, et les mélanges de polluants peuvent en fait avoir des effets encore plus marqués que ceux provoqués par chaque composé pris isolément. La présente section a trait aux effets de l'inhalation de polluants sur la santé. Les polluants atmosphériques peuvent aussi contaminer la nourriture et l'eau potable; d'autres rapports traitant de ce sujet en détail sont en préparation.

### Les effets aigus ou à court terme

*L'asthme.* — L'asthme est une maladie assez courante; chez les personnes qui en sont atteintes, le passage de l'air dans les poumons est entravé périodiquement lorsque les voies respiratoires se rétrécissent ou sont obstruées par un excès de mucosités. Parmi les symptômes de l'asthme, on compte le souffle court, la toux et la respiration sifflante, dont la gravité est très variable : un grand nombre d'asthmatiques ont besoin de beaucoup de médicaments tandis que d'autres ne prennent aucun remède.

Les causes de l'asthme sont encore mal définies; au nombre des facteurs possibles, il y a le stress, l'hérédité et l'exposition à des agents présents dans l'environnement, comme les allergènes ou les poussières. On ne sait pas si la pollution atmosphérique elle-même est une cause de l'asthme; elle peut toutefois multiplier les risques de crise chez les asthmatiques (NRC, 1985), et ceux-ci semblent particulièrement sensibles à l'anhydride sulfureux (Brain et collab., 1988).

*Les infections respiratoires.* — Une relation de cause à effet a été établie entre des polluants atmosphériques comme l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et l'ozone, et l'incidence accrue des infections respiratoires comme le rhume, la grippe, les maux de gorge, la pneumonie et la bronchite. D'après des études effectuées sur des animaux, certains polluants entravent en fait le fonctionnement du système d'épuration des voies respiratoires, rendant ainsi les poumons moins en mesure de se débarrasser des bactéries et des virus envahissants.

*Les modifications des fonctions pulmonaires.* — La pollution peut entraîner des changements temporaires dans l'aptitude des poumons à inspirer et à expirer (NRC, 1985). Bien que ces changements soient plutôt subtils, une diminution importante des fonctions pulmonaires a été observée à certains niveaux de pollution atmosphérique atteints de temps à autre au Canada. On ignore encore si un affaiblissement passager répété de la fonction pulmonaire peut déclencher des effets à long terme sur la santé de l'appareil respiratoire.

## Les effets à long terme

*La bronchopneumopathie obstructive chronique.* — Le terme bronchopneumopathie obstructive chronique englobe plusieurs affections dont la bronchite chronique, l'emphysème et les maladies des petites voies respiratoires, qui sont toutes signes de dommages irréversibles à l'appareil respiratoire. Cette maladie est, en fait, une limitation chronique du passage de l'air dans les poumons; les personnes qui en souffrent sont moins en mesure de combattre les infections, ce qui amoindrit leur qualité de vie.

La relation entre l'incidence de la bronchopneumopathie obstructive chronique et l'état de l'environnement est difficile à étudier pour diverses raisons : les gens se déplacent, il peut y avoir eu des expositions antérieures à des niveaux de pollution atmosphérique encore plus élevés, et le temps écoulé entre l'exposition et le début d'une maladie reste inconnu. On sait que les facteurs suivants contribuent à la bronchopneumopathie obstructive chronique : l'âge, l'hérédité, la cigarette, l'exposition en milieu de travail à des matières comme la poussière de charbon et certains produits chimiques, et l'exposition à de fortes concentrations d'anhydride sulfureux et de matières particulaires (NRC, 1985). On a constaté que la bronchite chronique est plus courante dans les régions où la pollution par l'anhydride sulfureux et les matières particulaires est élevée que dans des régions plus salubres (Ferris et collab., 1986).

*Le cancer du poumon.* — Les origines du cancer du poumon sont multiples et cette maladie peut résulter de l'interaction de divers facteurs. L'usage du tabac est manifestement le plus important de ces facteurs, suivi par certaines expositions en milieu de travail (NRC, 1985). L'air pollué peut contenir une variété de polluants, dont certains [comme le benzo(a)pyrène] causent le cancer chez les animaux de laboratoire. On croit aussi que des niveaux élevés de pollution de l'air ambiant accentuent l'action d'autres agents carcinogènes comme la fumée de cigarette (NRC, 1985).

## Les populations vulnérables

Les graves accidents de pollution qui se sont produits dans le passé montrent que les personnes âgées et celles qui souffrent déjà d'affections respiratoires sont les plus sensibles aux effets nocifs de la pollution atmosphérique (Brain et collab., 1988). Les fumeurs peuvent également l'être. L'exercice intensif augmente la quantité de polluants auxquels le système respiratoire est exposé, et l'on conseille souvent aux gens d'éviter l'exercice lorsque les niveaux de pollution sont élevés. Les fœtus sont aussi plus sensibles que les adultes à certains polluants, et c'est pourquoi les femmes enceintes sont souvent considérées comme une population vulnérable. On craint également que les enfants fréquemment exposés à des concentrations élevées de polluants atmosphériques puissent souffrir d'un sous-développement des poumons; les incidences à long terme de ce phénomène sur la santé de leur appareil respiratoire ne sont pas évidentes.

## Les études épidémiologiques au Canada

Les études épidémiologiques sont le seul moyen d'évaluer les effets réels de la pollution atmosphérique. Ce domaine de recherche comporte l'examen de la relation entre les effets de certaines conditions ambiantes comme la pollution atmosphérique sur la santé d'une population. Toutefois, l'épidémiologie a ses limites. Ainsi, il est souvent difficile d'interpréter les résultats en raison des variantes dans le mode de vie des gens. L'un des problèmes qui se posent lorsqu'on étudie la pollution de l'air extérieur, c'est que la qualité de l'air respiré par un individu peut varier considérablement selon ses activités quotidiennes. Étant donné que la majorité des Canadiens passent environ 85 % de leur temps à l'intérieur, l'air qu'ils respirent est fortement influencé par des activités comme fumer la cigarette. Une étude effectuée en 1983 à Hamilton a permis d'établir un lien très étroit entre les parents qui fument et les maladies respiratoires de leurs enfants; la pollution atmosphérique ne semblait jouer qu'un rôle mineur (Pengelly et collab., 1983). De même, les substances chimiques de l'air dans le milieu de travail peuvent influer grandement sur l'exposition totale d'une personne aux contaminants. En dépit de ces réserves, l'épidémiologie reste le meilleur moyen de vérifier si les niveaux de pollution atmosphérique nuisent à la santé d'une population.

Dans deux études épidémiologiques récentes de Santé et Bien-être social Canada sur les effets des polluants atmosphériques acides, on compare les fonctions pulmonaires d'enfants vivant dans des régions relativement peu polluées du Manitoba et de la Saskatchewan avec celles d'enfants du sud de l'Ontario, où les niveaux de pollution atmosphérique acide sont passablement élevés (voir le chapitre V). En moyenne, les fonctions pulmonaires des enfants ontariens étaient de 2 % inférieures à celles des enfants des Prairies. La fréquence des bronchites, des allergies respiratoires, des enchifrènements et des toux grasses était également plus grande chez les enfants ontariens. Des études analogues menées aux États-Unis ont confirmé que les enfants des villes plus polluées souffrent davantage de rhumes et d'infections des voies respiratoires supérieures que les autres enfants (Dockery et collab., 1989).

D'autres études montrent que la pollution atmosphérique peut effectivement accroître le nombre des cas de maladie parmi la population. Dans une de ces études, on examine la relation entre la pollution atmosphérique, la température et le nombre des personnes admises dans les hôpitaux en raison de troubles respiratoires. Les enquêtes menées dans le sud de l'Ontario pendant les étés 1974 à 1984 révèlent qu'un plus grand nombre de personnes souffrant de troubles respiratoires ont été hospitalisées les jours où les niveaux de pollution, notamment par l'anhydride sulfureux, étaient élevés (Bates et Sizto, 1989).

Dans un autre type d'étude portant sur les effets à court terme des polluants atmosphériques, les chercheurs de Santé et Bien-être social Canada ont constaté que les fonctions pulmonaires de fillettes d'un camp de vacances étaient amoindries lorsque les concentrations de polluants atmosphériques, en particulier les acides et l'ozone, y étaient élevées (Raizenne et collab., 1989). D'autres études effectuées au Canada et aux États-Unis confirment également que des niveaux élevés de pollution atmosphérique peuvent causer des dommages réversibles à la fonction pulmonaire (Ferris et collab., 1986).

### Les répercussions socio-économiques

Les maladies respiratoires ont des répercussions sur le plan social et économique. Des affections mineures comme le rhume et la grippe risquent d'entraîner une baisse de la productivité et l'absentéisme au travail. Les maladies plus graves nécessitant une hospitalisation sont de toute évidence coûteuses pour le régime des soins de santé et, en fin de compte, pour la société en général. Si la pollution atmosphérique accroît le nombre des cas de maladie, elle contribue de ce fait à l'alourdissement du fardeau social et économique que suppose le traitement des malades, en plus de diminuer la qualité de vie de ces derniers.

## Les effets sur le milieu

On connaît moins bien les effets de la pollution atmosphérique sur l'environnement que sur la santé. Cela tient au fait que la protection du milieu contre l'action néfaste des polluants atmosphériques a toujours été reléguée au second plan des préoccupations entourant la lutte pour l'assainissement de l'air, souvent considérée comme un simple élément d'un objectif de portée plus vaste, c'est-à-dire le bien-être des citoyens. On a fréquemment omis de tenir compte des effets indirects et moins visibles, sur la santé, des polluants atmosphériques qui avaient réagi avec le milieu après y avoir pénétré. Par conséquent, un grand nombre d'objectifs, de lignes directrices, de normes et de règlements touchant l'environnement ont été établis sans que l'on tienne compte de la totalité des effets possibles de la pollution atmosphérique sur la santé et l'environnement.

Cependant, ces dernières années, la conviction que la pollution atmosphérique cause de graves dommages à l'environnement a donné lieu à des études qui présentent un tableau plus complet de la situation. Par exemple, on a démontré que des plantes sont aussi sensibles que les humains, parfois même davantage, à certains polluants atmosphériques. La connaissance des effets de la pollution atmosphérique sur les animaux demeure très limitée; néanmoins, les analyses des tissus et des organes indiquent que certains des polluants atmosphériques les plus rémanents finissent par s'accumuler dans les plantes et les animaux.

Ce que l'on comprend bien, maintenant, c'est que l'air constitue la principale voie de pénétration dans l'environnement de nombreux polluants qui s'y comportent ensuite de manière assez complexe. Ainsi, dans le cas de certains polluants, c'est le transport à grande distance dans l'atmosphère qui est en cause ainsi que l'échange de polluants entre l'air, l'eau et le sol. On a la preuve que des polluants comme les composés organochlorés et certains métaux se fraient un chemin jusque dans la nourriture et l'eau potable, et que d'autres substances corrosives comme les acides, et des substances extrêmement réactives comme l'ozone, altèrent par des processus chimiques le milieu naturel et les matériaux. Ces polluants peuvent causer des dommages directs ou, dans certains cas, entraîner l'émission d'autres substances toxiques dans l'environnement par ce qui est essentiellement une réaction en chaîne.

### Les effets sur les végétaux

On peut étudier expérimentalement les effets de la pollution atmosphérique sur les végétaux et les cultures en exposant les plantes en croissance à des concentrations connues de polluants atmosphériques, soit dans un milieu conditionné comme une serre, soit dans des abris partiellement ou entièrement fermés aménagés dans des champs. Des polluants comme les acides, l'ozone, l'anhydride sulfureux et les oxydes d'azote peuvent nuire aux plantes. Les dommages peuvent se produire soit par contact direct avec des gaz, des vapeurs ou des particules (phénomène appelé *dépôt sec*, selon la terminologie de la pollution atmosphérique), soit par contact avec des précipitations contenant des polluants (le *dépôt humide*). Les polluants peuvent se déposer directement sur les plantes, être absorbés pendant le processus normal de respiration ou être assimilés par le système racinaire des plantes.

Les effets sur les plantes peuvent être subtils — les dommages étant imperceptibles à l'œil ou presque —, mais ils peuvent aussi être visibles à court et à long terme. On a établi quatre catégories de dommages aux végétaux : la contamination par des substances toxiques, une diminution de la qualité, une baisse du rendement et un amoindrissement de

la valeur esthétique (ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1983). Les signes évidents des dommages aux plantes comprennent la décoloration du feuillage (en zones définies ou en totalité), la mort du feuillage, en tout ou en partie, et la chute prématurée des feuilles ou des aiguilles. On peut aussi observer des changements moins apparents comme une baisse du taux de photosynthèse ou des modifications au niveau de l'activité enzymatique des plantes. La pollution peut également entraîner une réduction de la quantité des graines produites, de l'accroissement radial et de la masse totale des récoltes.

## Les effets sur les forêts

On a récemment observé en Europe et en Amérique du Nord un « déclin » des forêts, c'est-à-dire une modification importante dans la croissance et la vitalité des forêts. Il semble que de nombreux facteurs, dont la pollution atmosphérique, contribuent au déclin des forêts parce qu'ils entraînent l'affaiblissement ou même la mort des arbres. Le « dépérissement » des arbres, ou chute des feuilles ou des aiguilles, est un symptôme fréquemment observé de l'affaiblissement des arbres des forêts en déclin. La décoloration et les lésions du feuillage peuvent également être visibles. Le dépérissement des arbres ne se limite pas aux forêts : les arbres des villes peuvent présenter les mêmes symptômes. Le déclin des forêts est un problème qui a été mis au jour récemment; il se distingue des dommages importants causés aux forêts et aux arbres, au début du siècle, par les concentrations élevées de polluants provenant de sources précises, par exemple, l'anhydride sulfureux des fonderies. Les concentrations accrues des polluants acides transportés sur de grandes distances à partir de différentes sources soulèvent de vives préoccupations sur le plan des ressources forestières. Cette forme de pollution a peut-être commencé à avoir des effets sur la croissance des forêts il y a 20 ou 30 ans.

Les principaux facteurs du déclin des forêts sont le climat, les agents infectieux, les polluants atmosphériques, l'acidification des sols et les déficiences d'éléments nutritifs (Schulze, 1989). Il n'est pas facile d'étudier en laboratoire les nombreux facteurs intervenant dans le déclin des forêts, et bien des questions demeurent sans réponse. Pour mieux comprendre comment agissent ces facteurs dans le déclin des forêts, on a proposé trois classes de facteurs (McLaughlin, 1985) :

1) les *facteurs prédisposants*, qui entraînent à long terme l'affaiblissement des arbres : climat, humidité du sol, patrimoine génétique des arbres, éléments nutritifs du sol, polluants atmosphériques et compétition livrée par d'autres arbres et d'autres essences;

2) les *facteurs entraînants*, qui déclenchent un stress physiologique soudain chez les arbres affaiblis : défoliaison par les insectes, gel, sécheresse, sel, polluants atmosphériques et lésions mécaniques;

3) les *facteurs contributifs*, qui accélèrent le déclin des forêts : scolytes de l'écorce, champignons du chancre, virus, champignons du pourridié, et compétition livrée par d'autres arbres et d'autres essences.

La pollution atmosphérique est considérée à la fois comme un facteur prédisposant et comme un facteur entraînant, et elle peut avoir des effets au niveau cellulaire (p. ex., sur l'activité enzymatique), au niveau physiologique (p. ex., sur la photosynthèse), au niveau du développement de l'arbre (p. ex., sur son taux de croissance) et au niveau de la productivité forestière (p. ex., sur la reproduction).

Au Canada, les symptômes de dommages et de déclin sont visibles sur l'épinette rouge dans la région des Appalaches, au Québec. Des dommages foliaires ont été observés sur le bouleau à papier dans la région de la baie de Fundy. On a également signalé des dommages moins marqués et moins fréquents sur l'aulne, le sorbier, l'érable à épis, le peuplier à grandes dents et le peuplier faux-tremble (Magasi, 1989). Au Québec et en Ontario, les symptômes de déclin sont apparents sur l'érable à sucre. Forêts Canada a recours au Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides pour déceler et surveiller les changements dans l'aspect des forêts. Lorsque des dommages sont décelés, on entreprend des recherches pour déterminer la nature du problème. De telles recherches ont porté sur les bouleaux du Nouveau-Brunswick et les érables du Québec (Hall, 1989).

## Les effets sur la vie animale

Les animaux peuvent être touchés de bien des manières par les polluants atmosphériques, et les répercussions sont souvent graves. Les polluants qui sont inhalés, déposés sur la nourriture et ingérés ou absorbés par la peau peuvent causer des lésions directes ou entraîner la mort. Les rapports les plus anciens sur de telles lésions remontent au siècle dernier (U.S. Department of the Interior, 1980). Ainsi, on a signalé en 1887, en Allemagne, que des daims ont été tués par l'arsenic provenant d'une usine d'affinage de l'argent.

Aujourd'hui, on sait que nombre de polluants atmosphériques portent une atteinte directe à la vie animale. On a découvert que des dépôts de fluorures sur le fourrage étaient nocifs pour les animaux domestiques et les animaux sauvages parce qu'ils altéraient la formation des dents et du squelette (National Academy of Sciences, 1971). On a montré que l'ingestion, par les oiseaux, de pesticides présents dans la chaîne alimentaire provoquait l'amincissement de la

coquille des oeufs (Peakall et Kiff, 1988); la pollution atmosphérique n'est toutefois pas toujours en cause dans ce cas. De nombreux articles et documents traitent des effets de l'acidification des lacs par les précipitations acides (voir le chapitre V) sur la taille, l'abondance et la structure des populations de poissons (CNRC, 1981).

En outre, les polluants atmosphériques qui acidifient l'environnement, causent le dépérissement des arbres et le déclin des forêts, altèrent la couleur du milieu naturel (d'où une perte de la protection que la couleur assure à certains animaux) ou influent sur le climat, peuvent aussi avoir des effets indirects sur les espèces fauniques en modifiant leur habitat et/ou la répartition et le nombre de leurs proies de prédilection (Blancher et McAuley, 1987).

On a découvert des problèmes associés à la contamination par les métaux émis directement dans l'atmosphère ou lessivés du sol et des roches par suite de l'acidification. Ainsi, d'après des études de laboratoire, des invertébrés aquatiques ont pu disparaître des lacs où les concentrations de cadmium sont élevées. On a découvert de fortes concentrations de cadmium dans le foie d'orignaux et de mercure dans les tissus musculaires des poissons. Les fortes concentrations de métaux ne semblent pas toucher ces animaux, mais les prédateurs, surtout ceux qui sont au sommet de la chaîne alimentaire — dont les huarts, les hérons, les loutres et les visons —, peuvent souffrir d'effets aigus et à long terme après l'ingestion de mercure et d'autres contaminants. Les métaux ont généralement des effets plus graves chez les jeunes oiseaux et mammifères en pleine croissance (Scheuhammer, 1987). L'être humain, prédateur ultime, peut lui aussi voir sa santé compromise après l'ingestion de gibier contaminé. Ce ne sont là que quelques exemples des effets de la pollution atmosphérique sur la faune.

### Les effets sur les matériaux

La pollution atmosphérique peut être à l'origine de la dégradation accélérée des métaux et des matériaux non métalliques tels que la peinture, les revêtements, le bois, le papier, la pierre, le marbre, le grès, le béton, le mortier, la maçonnerie, la céramique, le verre, les textiles et le plastique (CNRC, 1986), bien qu'il soit difficile de faire la distinction entre l'altération naturelle par les éléments et les effets de la pollution. Les agents de corrosion comprennent l'anhydride sulfureux, l'ozone et les acides en suspension dans l'air. Des monuments, des statues, des peintures, des pierres tombales, des édifices et d'autres ouvrages d'art n'ont pas échappé aux dommages.

### Les effets sur le climat

On a établi des liens entre les polluants atmosphériques et le changement du climat, lequel risque d'entraîner des modifications sur les plans suivants : la pluviosité, la température, la fréquence des sécheresses, la durée des saisons, les averses de grêle, l'érosion et l'humidité du sol, les activités et la viabilité des insectes, et la croissance végétale. L'effet le plus étudié de la pollution atmosphérique sur le climat est le réchauffement de la planète, mais la pollution peut aussi influer sur les microclimats. Le dépôt de polluants dans l'Arctique peut assombrir la neige et entraîner une plus grande absorption du rayonnement solaire et, par conséquent, un réchauffement du climat de cette région. Ces deux sujets sont exposés au chapitre V.

## Conclusion

L'ampleur des effets possibles de la pollution atmosphérique sur la santé et l'environnement est une source de préoccupation pour tous. Bien que la qualité de l'air au Canada se soit considérablement améliorée ces dernières années, la santé du public peut être menacée dans les régions où les concentrations de polluants sont élevées. Cette situation est particulièrement préoccupante pour les enfants, pour les personnes âgées et pour les personnes souffrant de troubles respiratoires, étant donné que la pollution atmosphérique peut aggraver les conditions existantes. Il faut s'attaquer aux problèmes susceptibles d'être causés par la pollution atmosphérique, notamment le déclin des forêts, la corrosion des immeubles et des monuments, et la diminution des populations de poissons et d'autres espèces animales. La complexité des problèmes de pollution atmosphérique constitue l'un des grands défis que devront relever les décideurs de l'avenir. Comment tiendra-t-on compte des effets directs et indirects des polluants atmosphériques sur la santé et sur l'environnement (y compris sur le climat) dans les décisions touchant les objectifs et les règlements en matière de protection de l'environnement? Toute la question est là.

## Références


Bates, D.V., et R. Sizto. 1989. The Ontario air pollution study: Identification of the causative agent. Environmental Health Perspectives, 79:69–72.

Blancher, P.J., et D.G. McAuley. 1987. Influence of wetland acidity on avian breeding success. Pages 628–635 dans « Transactions of the 52nd North American Wildlife and Natural Resources Conference ».

Brain, J.D., B.D. Beck, A.J. Warren et R.A. Shaikh (réd.). 1988. Variations in susceptibility to inhaled pollutants. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.

CNRC (Conseil national de recherches du Canada). 1981. Acidification dans l'environnement aquatique au Canada : critères scientifiques pour évaluer les effets du dépôt acide sur les écosystèmes aquatiques. Rapport CNRC n° 18475, Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement, Ottawa.

CNRC (Conseil national de recherches du Canada). 1986. Bibliography of the corrosion effects of acid deposition on materials. Rapport CNRC n° 30300 préparé par le Groupe de travail du CNRC sur les effets corrosifs du dépôt acide, décembre, Ottawa.

Dockery, D.W., F.E. Speizer, D.O. Stram, J.H. Ware, J.D. Spengler et B.G. Ferris, Jr. 1989. Effects of inhalable particles on respiratory health of children. American Review of Respiratory Disease, 139:587–594.

Ferris, B.G., J.H. Ware, J.D. Spengler, D.W. Dockery et F.E. Speizer. 1986. The Harvard six city study. Dans « Aerosols: Research, risk assessment and control strategies ». S.D. Lee, T. Schneider, D. Grant et P.J. Verker (réd.). Lewis Publishers, Chelsea, MI.

Hall, J.P. 1989. Communication personnelle, Forêts Canada, 15 septembre.

Magasi, L.P. 1989. Détérioration du bouleau à papier dans la région de la baie de Fundy, Nouveau-Brunswick. Forêts Canada. Rapport d'information M-X-175, région des Maritimes.

McLaughlin, S.B. 1985. Effects of air pollution on forests. Journal of the Air Pollution Control Association, 35:512–534.

Ministère de l'Environnement de l'Ontario. 1983. Field investigation manual. Report ARB–68–83–Phyto. Section de phytotoxicologie, Direction des ressources atmosphériques, Toronto.

National Academy of Sciences. 1971. Biological effects of atmospheric fluorides. U.S. National Research Council, Washington, D.C.

Norstrom, R.J., M. Simon, D.C.G. Muir et R.E. Schweinsburg. 1988. Organochlorine contaminants in Arctic marine food chains: Identification, geographical distribution, and temporal trends in polar bears. Environmental Science and Technology, 22:1063–1071.

NRC (National Research Council). 1985. Epidemiology and air pollution. Prepared by the Commission on Life Sciences. National Academy Press, Washington, DC.

Peakall, D.B. et L.F. Kiff. 1988. DDE contamination in Peregrines and American Kestrels and its effect on reproduction. Pages 337–350 dans « Peregrine Falcon populations, their management and recovery ». T.J. Cade, J.H. Enderson, C.G. Thelander et C.M. White (réd.). Peregrine Fund Inc., Boise, ID.

Pengelly, L.D., A.T. Kerigan, L.H. Goldsmith et B.K. Garside. 1983. The Hamilton study: The effect of environmental factors on the respiratory health of school children. Rapport des entrepreneurs au ministère de l'Environnement de l'Ontario et à Santé et Bien-être social Canada.

Raizenne, M.E., R.T. Burnett, B. Stern, C.A. Franklin et J.D. Spengler. 1989. Acute lung function responses to ambient acid aerosol exposures. Environmental Health Perspectives, 79:179–185.

Scheuhammer, A.M. 1987. The chronic toxicity of aluminum, cadmium, mercury and lead in birds: A review. Environmental Pollution, 46:263–295.

Schulze, E.-D. 1989. Air pollution and forest decline in a spruce (Picea abies) forest. Science, 224:776–783.

U.S. Department of the Interior. 1980. Effects of air emissions on wildlife resources. Report FWS/OBS–80/401, Biological Services Program. U.S. Fish and Wildlife Service, Ann Arbor, MI. Préparé à contrat par Environmental Science and Engineering Inc. (J.R. Newman).

*Chapitre III*

# Les polluants atmosphériques courants

## Introduction

Au Canada, les premiers problèmes de pollution atmosphérique se sont manifestés par deux événements de portée internationale (Katz, 1962). D'une part, dans les années 1930, on a découvert que les émissions d'anhydride sulfureux de la grande fonderie de plomb et de zinc située à Trail, en Colombie-Britannique, causaient de sérieux dommages aux récoltes et aux forêts de l'État de Washington. D'autre part, à la fin des années 1940, les activités humaines combinées à l'expansion industrielle et à la navigation sur les Grands Lacs avaient donné lieu à une pollution atmosphérique inacceptable dans la région de Détroit–Windsor. Ces problèmes ont occupé le devant de la scène en raison de la publicité entourant les efforts déployés par le Canada et les États-Unis pour les résoudre, et ils ont masqué une détérioration graduelle plus généralisée de la qualité de l'air. Toutefois, dès les années 1960, l'augmentation rapide de la population et de l'industrialisation observée après la Seconde Guerre mondiale a eu pour effet de dégrader la qualité de l'air dans tout le pays (Katz, 1963).

À la fin des années 1960, après avoir constaté l'ampleur du problème et reconnu que les frontières politiques n'existaient pas pour les polluants atmosphériques, il devint évident qu'il fallait amener les différents paliers gouvernementaux du Canada à collaborer et à coordonner leurs efforts. Le Comité fédéral-provincial de la pollution de l'air — devenu, en 1984, le Comité consultatif fédéral-provincial sur la qualité de l'air — a été créé dans ce but en 1969, avant même la formation du ministère fédéral de l'Environnement et l'adoption de la *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique** (voir le chapitre VI). À l'époque, ce sont les polluants atmosphériques courants qui soulevaient le plus de préoccupations, et les autorités fédérales et provinciales chargées de la lutte antipollution ont accepté, en 1969, d'établir le Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (RNSPA), indiquant par là une volonté nouvelle et mieux arrêtée de collaboration entre le gouvernement fédéral et les gouvernements provinciaux dans ce domaine.

Le RNSPA exerce plusieurs fonctions :

- déterminer la nature et l'étendue de la pollution atmosphérique dans tout le Canada pour faciliter la planification des programmes de lutte contre la pollution à l'échelon tant provincial que fédéral;
- fournir les données de base permettant d'établir un lien entre les niveaux de pollution et les effets sur la santé et le milieu, par exemple, au moyen d'études épidémiologiques;
- mesurer l'efficacité des programmes de lutte contre la pollution atmosphérique;
- diffuser régulièrement, à l'intention du public, des informations claires et concises sur la qualité de l'air au pays et sur les progrès accomplis à l'échelon national dans la poursuite des objectifs de qualité de l'air;
- assurer une base d'intervention rapide lorsque la pollution atteint des niveaux exceptionnellement élevés dans les centres urbains; et
- fournir une base factuelle en vue des négociations entourant les programmes de gestion de l'air applicables aux problèmes internationaux et interprovinciaux de pollution atmosphérique transfrontière.

Les organismes provinciaux exploitent et entretiennent les stations de surveillance de l'air du RNSPA sur une base quotidienne. Pour sa part, le gouvernement fédéral fournit le gros des instruments, contribue à certains services de soutien comme l'analyse des échantillons au besoin, et coordonne l'ensemble des activités du réseau à l'échelon national. Cette division des tâches se traduit par une répartition presque égale des coûts généraux d'exploitation du réseau. En 1989, celui-ci couvrait 52 villes et comptait 380 appareils de mesure dans 132 stations. Le RNSPA est la source de la majeure partie des renseignements contenus dans ce rapport

* En juin 1988, le gouvernement promulguait la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, qui intégrait la *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique* et diverses autres dispositions législatives destinées à protéger l'environnement. Le processus visant à faire en sorte que les règlements, lignes directrices et objectifs élaborés en vertu de la *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique* (voir le chapitre VI) s'appliquent conformément à la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* se poursuit.

## Qu'est-ce qu'un objectif de qualité de l'air?

Un objectif de qualité de l'air est un énoncé de la concentration d'un polluant atmosphérique et de la durée d'exposition à ce polluant, qui assurent un certain degré de protection aux animaux, aux végétaux et aux matériaux si elles ne sont pas dépassées. Généralement, les objectifs sont établis en fonction d'une exposition de courte durée et de longue durée aux polluants atmosphériques. Les organismes de lutte contre la pollution surveillent régulièrement les concentrations de polluants atmosphériques et les comparent avec les objectifs de qualité de l'air pour vérifier s'ils parviennent à atteindre et à maintenir les meilleurs niveaux de qualité possibles pour le public. Le gouvernement fédéral établit les objectifs nationaux de qualité de l'air ambiant d'après les recommandations du Comité consultatif fédéral-provincial sur la qualité de l'air. Les gouvernements provinciaux peuvent, à leur gré, les adopter comme objectifs provinciaux ou comme normes applicables dans leur province.

Le Canada a établi un système unique à trois niveaux pour ses objectifs nationaux de qualité de l'air, après avoir reconnu que, dans un pays aussi vaste, les besoins pouvaient varier d'un point à un autre. En fixant les objectifs en fonction de la teneur maximale admissible, de la teneur maximale acceptable et de la teneur maximale souhaitable, on a établi trois niveaux de qualité de l'air pour répondre à ces besoins (Comité fédéral-provincial de la pollution de l'air, 1976) :

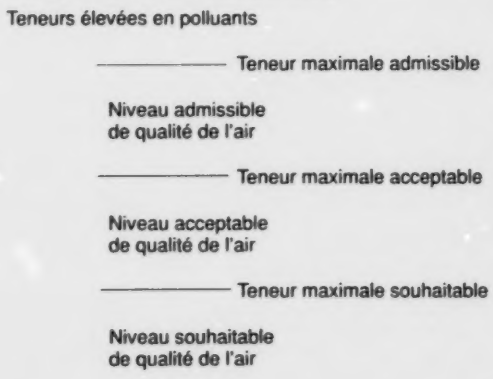
- La *teneur maximale souhaitable* représente un objectif à long terme de qualité de l'air et sert de fondement à toute politique* visant à prévenir la dégradation des régions de notre pays non touchées par la pollution, ainsi qu'à l'amélioration constante des techniques antipollution.
- La *teneur maximale acceptable* vise à protéger le sol, l'eau, les végétaux, les matériaux, les animaux, le mode de vie et le bien-être de la population contre les effets néfastes de la pollution, et à prévenir une réduction de la visibilité.
- La *teneur maximale admissible* (ou tolérable) est déterminée par les teneurs en polluants atmosphériques en fonction du temps; lorsque les polluants atteignent ces degrés de concentration, il faut adopter au plus vite des mesures appropriées pour protéger la santé de la population.

* Cette politique vise à empêcher la dégradation de la qualité de l'air non pollué, même s'il semble possible que cette dégradation n'ait aucun effet apparent.

Le Comité consultatif fédéral-provincial sur la qualité de l'air est en train de réviser ces objectifs et de déterminer s'il ne faudrait pas en établir pour d'autres polluants.

Les niveaux d'émission reflètent la réalité de la qualité de l'air au Canada. Ainsi, dans certaines régions du pays, les concentrations des polluants atmosphériques courants sont extrêmement faibles. L'objectif jugé raisonnable pour ces régions serait le maintien de la qualité de l'air au niveau souhaitable et la prévention de sa dégradation. Cependant, dans d'autres régions densément peuplées du pays, les émissions de polluants atmosphériques courants sont importantes et la qualité de l'air se situe généralement au niveau acceptable. En pareil cas, un objectif raisonnable à court terme serait peut-être de maintenir la qualité de l'air au niveau acceptable, d'éviter toute activité susceptible de polluer davantage et de s'employer à améliorer la situation à long terme. Lorsque les concentrations de polluants restent en-deçà de la teneur maximale acceptable, les personnes et les zones les plus vulnérables sont, par définition, protégées adéquatement. On a défini le niveau admissible de qualité de l'air pour les cas plus graves mais épisodiques de pollution atmosphérique, qui peuvent nécessiter des mesures de lutte extraordinaires. La majorité des gouvernements provinciaux ont adopté en tout ou en partie les objectifs nationaux de qualité de l'air ambiant pour les appliquer sur leur territoire. Les exigences en matière de qualité de l'air au Canada sont comparables à celles appliquées dans de nombreux autres pays.

### Le système à trois niveaux des objectifs de qualité de l'air au Canada



## Les secteurs couverts par les émissions estimatives

*Procédés industriels*

- Exploitation minière et transformation des minéraux
- Sidérurgie
- Extraction des métaux non ferreux : aluminium, cuivre, plomb, zinc, nickel, or
- Production de combustibles fossiles
- Fabrication de produits chimiques
- Autres procédés manufacturiers (exception faite de la production de chaleur et d'électricité par ces industries)

*Combustion de combustible – sources fixes*

- Centrales hydroélectriques
- Industries
- Entreprises commerciales
- Habitations (y compris le bois de chauffage)

*Combustion de combustible – sources mobiles*

- Véhicules à moteur à essence (automobiles, véhicules utilitaires légers et lourds)
- Véhicules à moteur diesel (véhicules utilitaires légers et lourds)
- Autres moteurs à essence et diesel
- Aéronefs
- Bateaux
- Trains

*Incinération des déchets*

- Déchets ligneux
- Autres déchets (p. ex., les boues municipales des usines d'épuration)

*Divers*

- Utilisation de solvants, par exemple, dans le nettoyage à sec et les revêtements de surface (dont les peintures et les vernis)
- Commercialisation des carburants (c.-à-d. le transport, le stockage et la distribution aux détaillants)
- Brûlage des rémanents (c.-à-d. les déchets ligneux de l'exploitation forestière)
- Incendies d'immeubles

*Remarque* : Les incendies de forêt sont considérés comme des sources naturelles d'émissions et ne font pas partie de l'inventaire des sources de polluants atmosphériques courants.

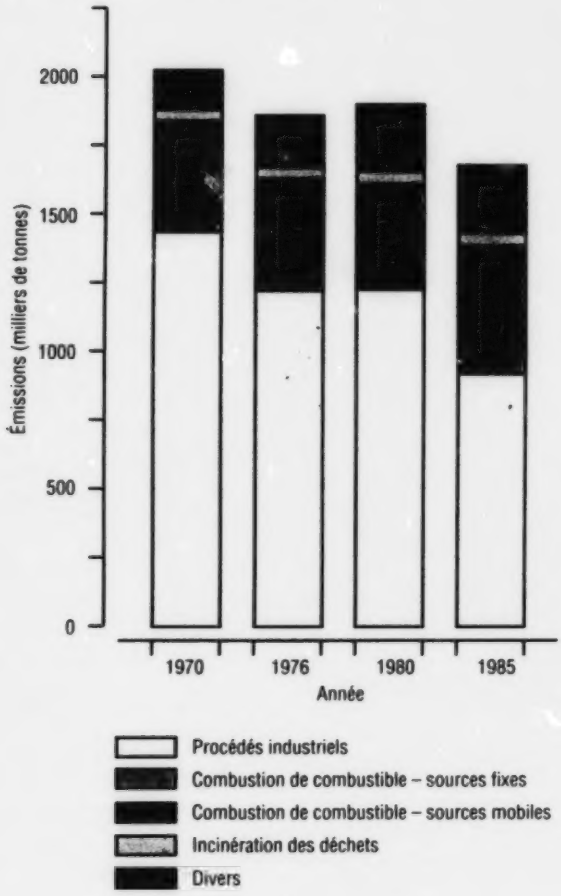
sur les tendances et les concentrations des polluants atmosphériques courants au Canada. Les provinces et les municipalités exploitent elles aussi des réseaux de surveillance de la pollution atmosphérique dans plusieurs régions de leur territoire.

Les gouvernements fédéral et provinciaux fournissent conjointement les données nécessaires à l'estimation des émissions de polluants. Toutefois, de grandes incertitudes entourent la détermination des émissions de polluants atmosphériques courants, étant donné qu'il faut tenir compte d'un grand nombre de sources diverses et très répandues. Dans certains cas, on a mesuré directement les émissions en prélevant des échantillons des cheminées industrielles; dans d'autres, on ne dispose que d'estimations. Les niveaux d'émissions calculés dans les années 1980 sont généralement plus exacts que ceux obtenus dans les années 1970, les méthodes utilisées s'étant améliorées et un plus grand nombre de sources étant désormais prises en compte. Par conséquent, les tendances des émissions sont sujettes à des révisions périodiques en fonction des nouvelles méthodes mises au point et de l'accès aux données d'échantillonnage sur les gaz des grandes cheminées. Les données sur les émissions d'usines particulières sont habituellement fournies par des organismes provinciaux qui recueillent ces données afin que les usines puissent obtenir un permis provincial d'exploitation. Autrement, on recueille les données sur les émissions à l'aide de méthodes normalisées et de débits « types » d'émission. L'incertitude est encore plus grande quant à la prévision des émissions. On peut toutefois, moyennant certaines précautions, établir des comparaisons temporelles utiles sur les niveaux d'émission.

## Les matières particulaires en suspension dans l'air

À l'époque préindustrielle, l'atmosphère contenait des particules de poussière, de sel marin, de fumée des incendies de forêt, de pollen et de cendre volcanique poussées par le vent. Aujourd'hui, à l'ère industrielle, viennent s'y ajouter chaque année au Canada des milliers de tonnes de matières particulaires en provenance des mines, fonderies et usines de pâtes et papiers; de l'utilisation de combustibles pour produire de la chaleur et de l'électricité et l'énergie nécessaire au transport; de la combustion de bois de chauffage et des déchets ligneux de l'exploitation forestière; et de l'incinération des déchets. D'après les estimations, les émissions de matières particulaires, à l'exclusion des sources naturelles comme les incendies de forêt, ont diminué d'environ 7 % de 1970 à 1985 (figure 6), surtout à cause d'une dépollution plus efficace des émissions industrielles.

**Figure 6**
**Émissions de matières particulaires au Canada, 1970–1985**




SOURCE : Environnement Canada, 1986; Vena, 1989.

Les matières particulaires de l'atmosphère se composent de particules dont le diamètre varie de 0,005 à 100 µm. Les effets sur la santé de l'inhalation de ces particules dépendent en grande partie de trois conditions : le degré de pénétration, de dépôt et de rétention dans les poumons. Les particules déposées dans la cage thoracique des poumons provoquent la réaction la plus forte à l'action des substances toxiques. Comme on sait que seules les particules dont le diamètre ne dépasse pas 10 µm pénètrent dans la région thoracique, l'U.S. Environmental Protection Agency (1982) a proposé le terme « fraction $PM_{10}$ » pour désigner la fraction des particules totales en suspension de cette catégorie.

Les principaux effets liés à l'exposition aux particules en suspension dans l'air comprennent les troubles pulmonaires, l'aggravation des maladies pulmonaires et

## Les types de matières particulaires

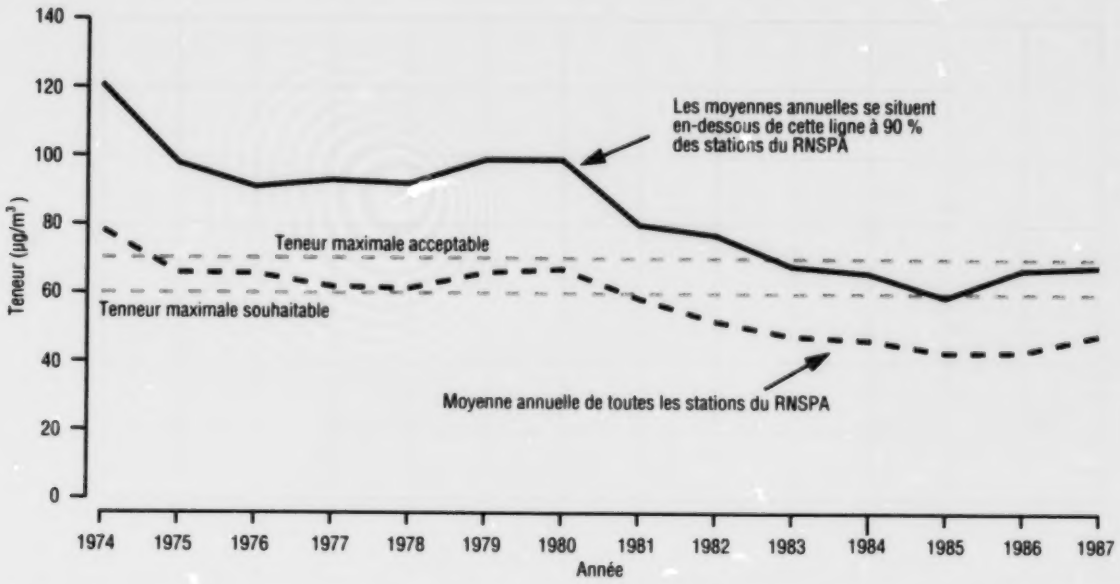
Au moment de la formulation des objectifs actuels du Canada en matière de qualité de l'air, il a été convenu que le terme *particules en suspension dans l'air* devait s'entendre d'une grande variété de particules solides ou liquides (aérosols) qui restent en suspension dans l'atmosphère et qui peuvent s'introduire dans les voies respiratoires (Comité fédéral-provincial de la pollution de l'air, 1976). Ont été exclues de cette définition les matières particulaires résultant de la combustion du bois et des combustibles fossiles, qui se composent de substances organiques (ou y sont associées) et qui sont reconnues comme hautement toxiques et carcinogènes (p. ex., les hydrocarbures aromatiques polycycliques ou HAP). Cette classe de matières particulaires est examinée dans une section à part (voir le chapitre IV). Au moment d'élaborer les objectifs, on a exclu expressément les substances aux effets toxiques connus, comme l'arsenic, l'amiante, le béryllium, les HAP, etc. (Comité fédéral-provincial de la pollution de l'air, 1976).

**Les objectifs de qualité de l'air pour les matières particulaires en suspension**

| Temps d'exposition | Teneur maximale souhaitable (µg/m³) | Teneur maximale acceptable (µg/m³) | Teneur maximale admissible (µg/m³) |
|---|---|---|---|
| Une heure | — | — | — |
| 24 heures | — | 120 | 400 |
| Un an | 60 | 70 | — |

cardiovasculaires, les effets sur le coefficient d'épuration mucociliaire et d'autres mécanismes de défense du sujet, les modifications morphologiques et la mortalité (Holland et collab., 1979; Ericsson et Camner, 1983). On a pu observer des taux de mortalité élevés après une exposition des sujets à de fortes concentrations de particules atmosphériques en même temps qu'aux oxydes de soufre après des épisodes de pollution à Londres, en Angleterre, et à New York, dans les années 1950 et au début des années 1960 (Martin, 1964; Greenburg et collab., 1967). Pendant les épisodes de pollution par les particules, les groupes présentant les risques les plus élevés sont les enfants (d'âge scolaire et préscolaire), les personnes âgées, les personnes souffrant de maladies ischémiques chroniques du cœur (les cardiaques et les malades atteints d'artériosclérose), les asthmatiques, les victimes de la grippe ou de la bronchite, les fumeurs et les personnes respirant par la bouche et le nez ou seulement par la bouche.

**Figure 7**
**Tendances des concentrations de matières particulaires totales en suspension dans l'air ambiant au Canada, 1974–1987**




SOURCE : Environnement Canada, 1987, 1988.

REMARQUE : Les matières particulaires sont recueillies pendant 24 heures tous les six jours pendant toute l'année.

Les autres sujets d'inquiétude liés aux matières particulaires sont les suivants :

- *La formation d'aérosols acides.* — Les émissions d'anhydride sulfureux et d'oxydes d'azote entraînent la formation de fines particules composées de sulfates et de nitrates. Ces fines particules peuvent nuire aux fonctions pulmonaires et acidifier le milieu.
- *La visibilité réduite.* — L'air pollué contient des gaz, des particules et des gouttelettes qui entravent le passage de la lumière et réduisent ainsi la visibilité. Quand elle est diffusée par des matières particulaires, la lumière qui parvient jusqu'à l'observateur se trouve réduite. Les fines particules que l'on peut respirer sont celles qui diffusent le plus efficacement la lumière.
- *La souillure.* — Les fines particules (<2,5 µm de diamètre) de l'air finissent par se déposer sur les immeubles, les automobiles et les vêtements, et la souillure qui en résulte est inesthétique.

Les objectifs actuels de qualité de l'air ayant trait aux matières particulaires, recommandés à Environnement Canada vers 1975 (Comité fédéral-provincial de la pollution de l'air, 1976), ont été établis en fonction de la sensibilisation des gens à la présence de polluants visibles dans l'air (moyenne annuelle de 60 µg/m³ pour la teneur maximale souhaitable) et des effets des polluants sur la visibilité et l'aggravation des maladies des voies respiratoires inférieures (bronchite) chez les enfants (moyenne de 24 heures de 120 µg/m³ et moyenne annuelle de 70 µg/m³ pour la teneur maximale acceptable). Ces objectifs ont été fixés lorsque de fortes concentrations de particules et d'anhydride sulfureux étaient courantes dans les régions urbaines; le Comité consultatif fédéral-provincial sur la qualité de l'air est en train de les réexaminer.

Les données d'Environnement Canada indiquent que la concentration annuelle moyenne des particules dans l'air à toutes les stations de surveillance du RNSPA a diminué de 46 % entre 1974 et 1986 (Environnement Canada, 1987, 1988). Cette amélioration importante de la qualité de l'air des centres urbains, occasionnée par la réduction des émissions de particules dans l'air, s'explique par le fait que la majorité des grandes sources industrielles de matières particulaires sont situées en dehors des centres urbains. En 1986, les teneurs moyennes à plus de 90 % des stations du RNSPA se situaient bien en-deçà du niveau souhaitable de qualité de l'air (figure 7).

Néanmoins, l'exposition de courte durée à de fortes concentrations de matières particulaires demeure un problème. Ainsi, la teneur maximale acceptable pendant une exposition de 24 heures a été dépassée pendant au moins 10 % du temps à certaines stations du RNSPA à Sydney, à Rouyn, à Windsor, à Edmonton, à Hamilton et à Calgary. En outre, la teneur maximale admissible de 24 heures (objectif de qualité de l'air) a été dépassée une fois, en 1986, aux stations de surveillance du RNSPA à Edmonton, à Calgary et à Yellowknife. Les fortes concentrations de particules pendant un court laps de temps peuvent être attribuées en partie à la poussière naturelle soufflée par le vent ainsi qu'aux activités de construction, aux activités industrielles et au nombre croissant de voitures automobiles dans les villes. À long terme, le développement socio-économique — qui a amené l'utilisation d'énergies plus propres (p. ex., le gaz naturel au lieu du charbon et du bois), la modernisation des centres-villes, une plus grande propreté des rues, davantage de gazon et d'asphalte ainsi que l'amélioration des centres industriels et commerciaux, y compris l'installation d'équipement antipollution — semble se traduire par une amélioration de la qualité de l'air dans les centres urbains en ce qui a trait aux matières particulaires.

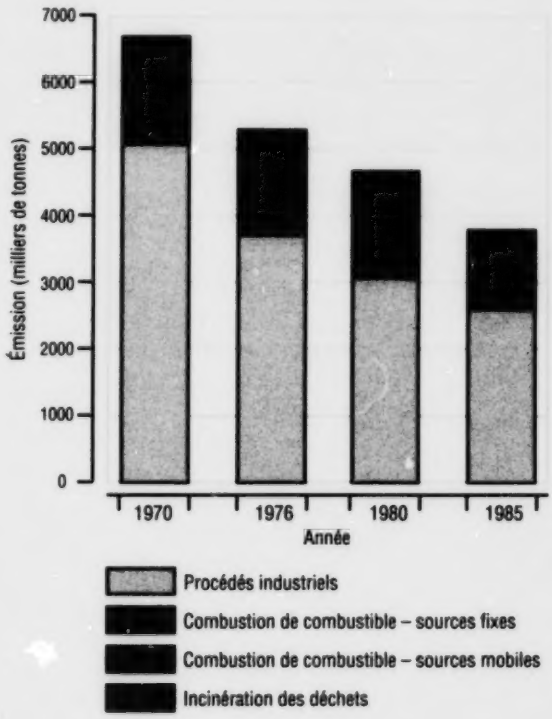
Depuis mai 1984, Environnement Canada a recueilli dans 15 villes canadiennes des particules respirables (<10 µm de diamètre). Les résultats obtenus de mai 1984 à décembre 1987 indiquent que les concentrations moyennes de ces particules variaient de 17 µg/m³ à St-Jean (Terre-Neuve) à 49 µg/m³ à une station de surveillance de Montréal (Dann, 1989*a*). Les analyses montrent que les particules respirables les plus fines — diamètre inférieur à environ 2,5 µm — n'ont pas la même origine ni la même composition que les particules de 2,5 à 10 µm de diamètre. Les particules plus grosses sont généralement d'origine naturelle (minéraux de la croûte terrestre, sels marins et matières végétales), tandis que les particules fines se composent de plomb, de sulfates, de nitrates, de carbone et d'une variété de composés organiques résultant en grande partie de la pollution anthropique (State of California Air Resources Board, 1982). Aux stations de surveillance de l'est du Canada, les matières particulaires fines représentaient plus de 60 % des particules respirables; dans les provinces des Prairies, cette proportion était généralement inférieure à 40 %.

Au Canada, les concentrations mesurées de particules respirables se situent en-deçà des normes de qualité de l'air récemment introduites aux États-Unis pour cette grosseur de particules : 150 µg/m³ pour une exposition de plus d'une heure et 50 µg/m³ pour une exposition de plus d'un an (U.S. Environmental Protection Agency, 1987). Les objectifs de qualité de l'air au Canada pour les matières particulaires respirables sont en cours d'élaboration.

## L'anhydride sulfureux

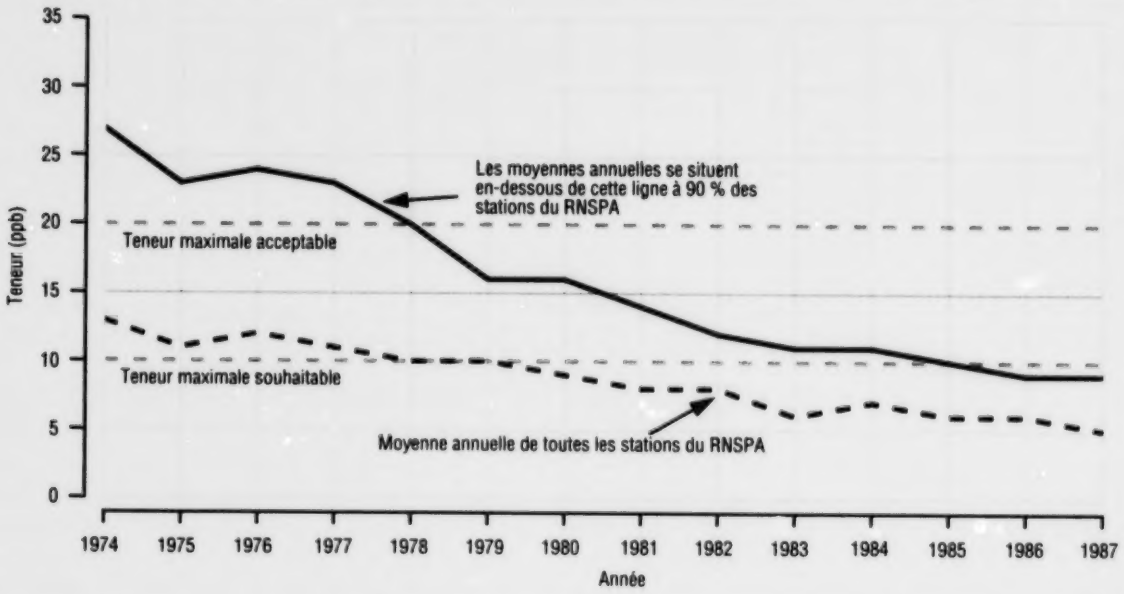
En 1985, environ 70 % des émissions d'anhydride sulfureux au Canada provenaient de l'industrie, dont 69 % de la production du cuivre, du nickel, du plomb, du zinc, de l'or et de l'aluminium et 21 % de la récupération et de la transformation du pétrole et du gaz naturel. La combustion de combustibles, surtout par les centrales électriques et les entreprises industrielles, représentait 28 % des émissions totales d'anhydride sulfureux au Canada. De 1970 à 1985, ces émissions ont diminué de près de 45 % (figure 8), grâce en bonne partie aux modifications apportées aux techniques et procédés industriels, à la récupération et à l'utilisation de l'anhydride sulfureux pour fabriquer de l'acide sulfurique commercial, et à l'utilisation accrue de combustibles à faible teneur en soufre (Paine, 1989).

**Figure 8**
**Émissions d'anhydride sulfureux au Canada, 1970–1985**




Source : Environnement Canada, 1986; Vena, 1989.

**Figure 9**
**Tendances des concentrations d'anhydride sulfureux dans l'air ambiant au Canada, 1974–1987**




SOURCE : Environnement Canada, 1987, 1988.

**Les objectifs de qualité de l'air pour l'anhydride sulfureux**

| Temps d'exposition | Teneur maximale souhaitable (ppb) | Teneur maximale acceptable (ppb) | Teneur maximale admissible (ppb) |
|---|---|---|---|
| Une heure | 170 | 340 | — |
| 24 heures | 60 | 110 | 310 |
| Un an | 10 | 20 | — |

Les concentrations d'anhydride sulfureux dans l'environnement peuvent nuire à la santé et aux végétaux. Dans les études épidémiologiques et les études de laboratoire en milieu conditionné sur la santé, on a relevé des effets sur les poumons et le déclenchement de maladies pulmonaires chroniques. Bien qu'il n'ait pas été possible de déterminer clairement un seuil, les expositions de courte durée à des concentrations maximales d'anhydride sulfureux de 1 ppm n'ont pas entraîné d'effets graves ou irréversibles; toutefois, on a observé une réduction importante des fonctions pulmonaires chez des adultes en bonne santé à l'effort après une exposition à ces concentrations maximales (Kirkpatrick et collab., 1982; Stacy et collab., 1983; Linn et collab., 1985). On a aussi observé des symptômes de troubles respiratoires bénins associés au dysfonctionnement des conduits aériens et à la bronchoconstriction temporaire chez des sujets asthmatiques à l'effort (Schachter et collab., 1984; Witek et Schachter, 1985).

Au cours d'études épidémiologiques, on a établi un lien entre des expositions de courte durée (environ une journée) à des concentrations d'anhydride sulfureux et des décès, bien qu'il y ait eu en même temps une exposition à des concentrations élevées de particules pendant ces épisodes de pollution (Martin, 1964; Ellison et Waller, 1978). L'exposition chronique à des concentrations maximales d'anhydride sulfureux de 50 ppb a provoqué des troubles et maladies respiratoires (toux et bronchite), notamment chez les jeunes enfants (Dodge, 1983) et les fumeurs (Sawicki, 1969).

Les premiers signes de dommages aux végétaux se manifestent dans le feuillage; les autres parties semblent plus résistantes. Le pin blanc est une essence particulièrement sensible, qui donne des signes de lésion aiguë en quelques heures à des concentrations atmosphériques d'anhydride sulfureux aussi faibles que 25–30 ppb. De nombreuses espèces végétales sont atteintes en quelques heures quand on les expose à des concentrations d'anhydride sulfureux de 100 à 1000 ppb, tandis que d'autres plantes plus robustes accusent des dommages graves seulement au-delà de 1 ppm (Comité consultatif fédéral-provincial sur la qualité de l'air, 1987*a*).

Les dommages infligés à long terme aux végétaux et qui se manifestent habituellement par une décoloration du feuillage sont généralement évalués en fonction des concentrations moyennes d'anhydride sulfureux auxquelles une plante est exposée pendant une saison de croissance ou un an, étant donné que ces concentrations peuvent varier énormément d'un jour à l'autre. La réaction des plantes est également très influencée par des facteurs environnementaux comme l'ensoleillement, la pluie, le vent et la sécheresse. L'étude des dommages à long terme aux forêts montre que les effets sont importants lorsque la concentration moyenne d'anhydride sulfureux atteint environ 17 ppb, mais légers lorsque la concentration est de 8 ppb. La diversité et l'abondance des espèces de lichens sont touchées à des concentrations de 15–20 ppb.

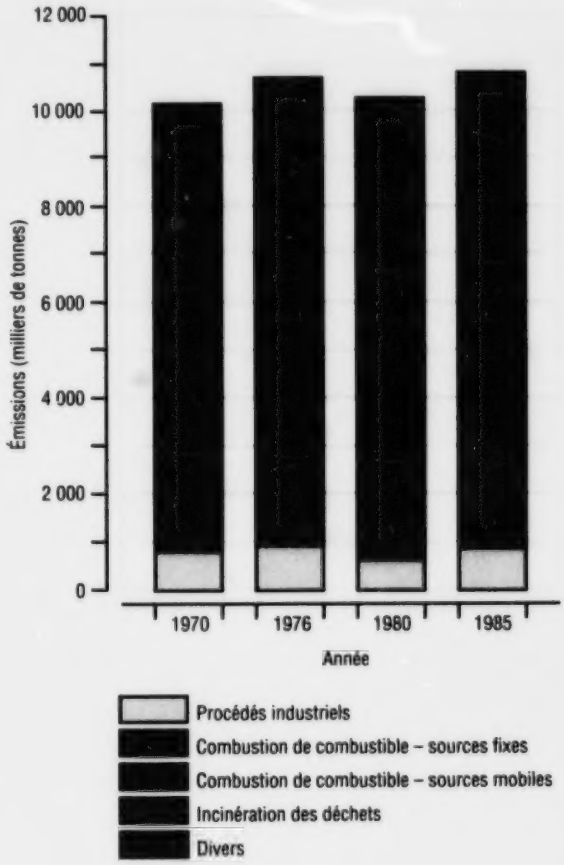
Les objectifs de qualité de l'air recommandés par le Comité fédéral-provincial de la pollution de l'air (1976) se fondent sur les effets de l'anhydride sulfureux tant sur la santé que sur les végétaux. Les teneurs maximales acceptables pour une moyenne d'une heure, de 24 heures et d'un an sont de 340, 110 et 20 ppb, respectivement; les teneurs maximales souhaitables sont de 170, 60 et 10 ppb pour les mêmes périodes. Ces limites ont été retenues après un examen des articles et ouvrages les plus récents sur le sujet (Comité consultatif fédéral-provincial sur la qualité de l'air, 1987*a*).

Dans les centres urbains du Canada, la concentration annuelle moyenne d'anhydride sulfureux mesurée aux stations de surveillance du RNSPA a diminué de 54 % entre 1974 et 1986 — de 13 à 6 ppb — et elle se situe actuellement bien en-deçà de la teneur maximale souhaitable annuelle de 10 ppb (objectif de qualité de l'air) à 90 % des stations du RNSPA (figure 9) (Environnement Canada, 1987, 1988). En 1986, la teneur maximale souhaitable de 170 ppb pendant une heure a été respectée (les valeurs ont même été inférieures parfois) 99,9 % du temps à 93 % des stations de surveillance du RNSPA. À toutes les stations de surveillance de Montréal, Québec, Rouyn, Trois-Rivières, Shawinigan et Sudbury, on a enregistré des concentrations horaires moyennes d'anhydride sulfureux qui dépassaient la teneur maximale acceptable de 340 ppb (objectif de qualité de l'air) pour une heure, mais pendant moins de 1 % du temps dans tous les cas. Toutefois, partout sauf à Québec, à Rouyn et à Shawinigan, la teneur maximale acceptable de 110 ppb (objectif de qualité de l'air) pendant 24 heures a été respectée en 1986. Toujours la même année, la teneur maximale admissible pendant 24 heures a été dépassée douze fois à Québec (Environnement Canada, 1988).

## Le monoxyde de carbone

Tout procédé de combustion où une matière organique contenant du carbone est brûlée sans qu'il y ait suffisamment d'oxygène produira du monoxyde de carbone. Les véhicules automobiles, notamment ceux dont le moteur est mal réglé, constituent une source majeure de monoxyde de carbone en raison de leur grand nombre circulant sur les routes en tout temps. En fait, plus de 66 % du monoxyde de carbone émis au Canada en 1985 provenait des moteurs à combustion interne des véhicules automobiles, des trains, des aéronefs et des bateaux, c'est-à-dire de nos principaux moyens de transport (figure 10).

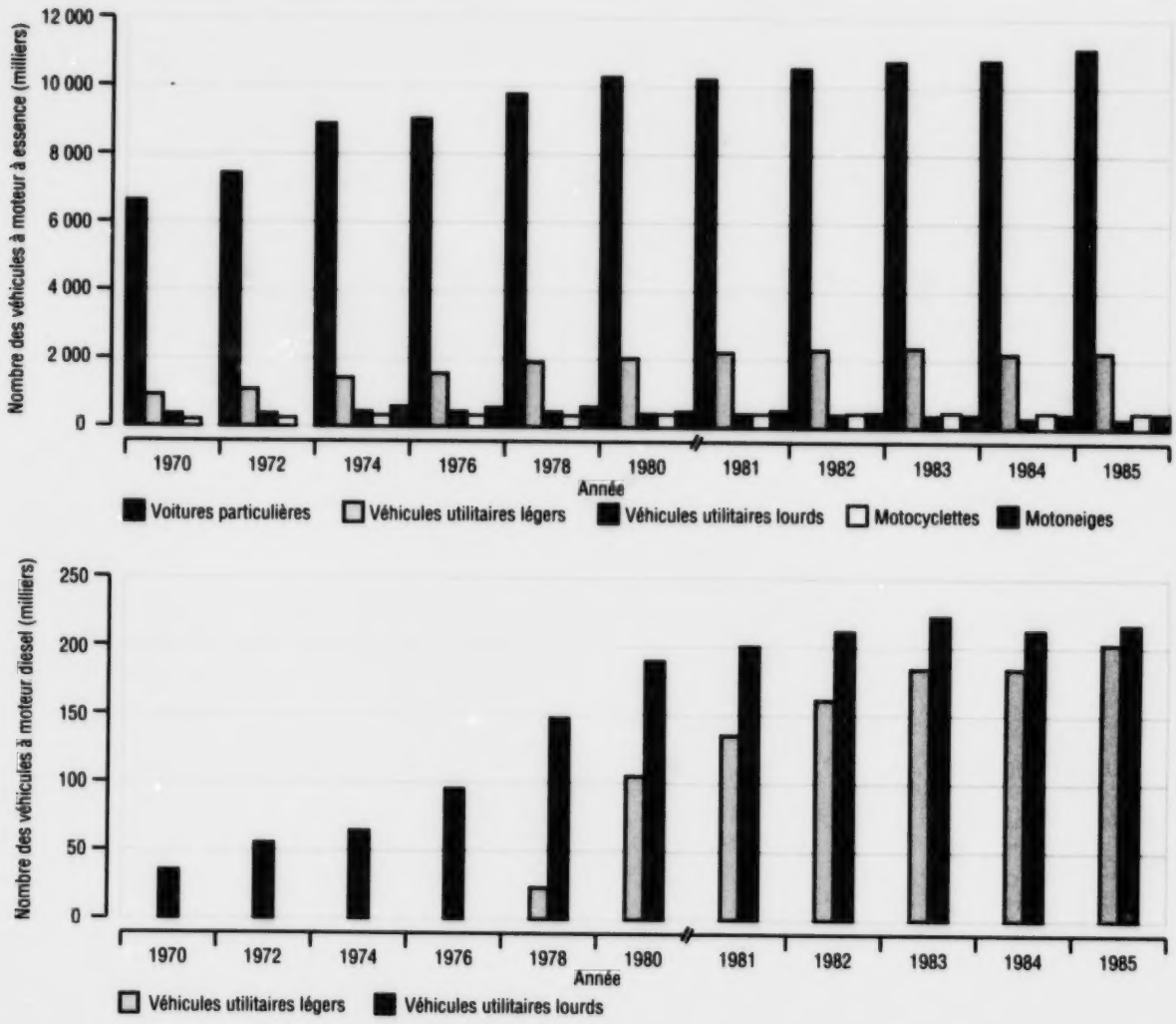
**Figure 10**
**Émissions de monoxyde de carbone au Canada, 1970–1985**




SOURCE : Environnement Canada, 1986; Vena, 1989.

Les procédés industriels, la combustion de combustible pour la production d'électricité ou le chauffage des habitations, des bureaux, des installations commerciales et industrielles, et le brûlage des déchets ligneux et des rémanents de l'exploitation forestière émettent de faibles quantités de monoxyde de carbone, comparativement aux sources mobiles (transport),

**Figure 11**
**Nombre des véhicules à moteur à essence et à moteur diesel au Canada, 1970–1985**




SOURCE : Environnement Canada, Division des systèmes de transport, Ottawa.

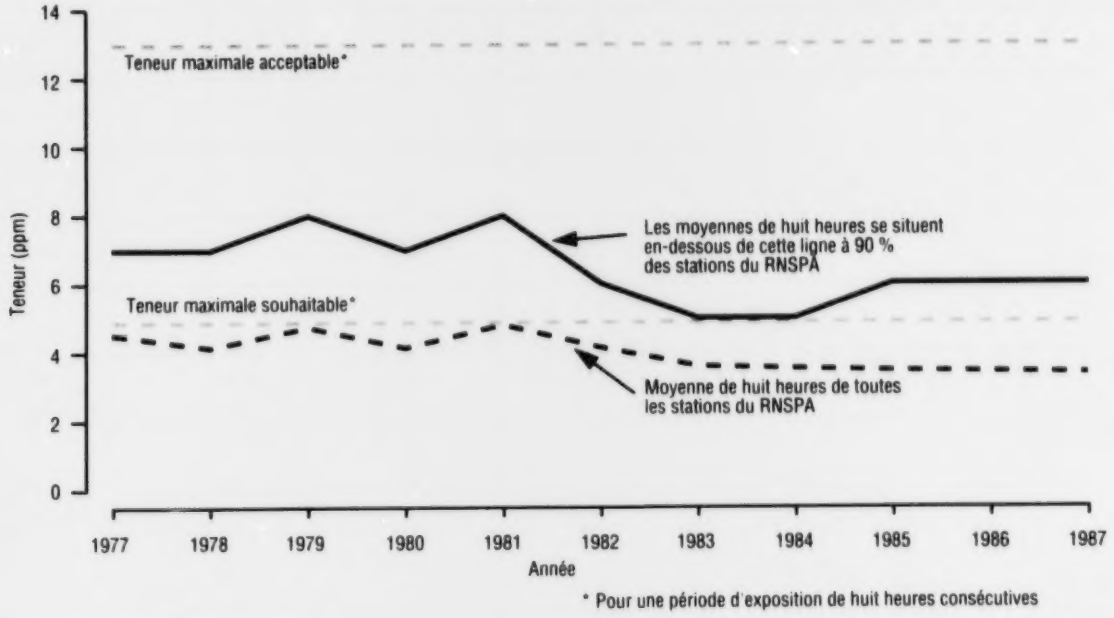
**Les objectifs de qualité de l'air pour le monoxyde de carbone**

| Temps d'exposition | Teneur maximale souhaitable (ppm) | Teneur maximale acceptable (ppm) | Teneur maximale admissible (ppm) |
|---|---|---|---|
| Une heure | 13 | 30 | — |
| Huit heures | 5 | 13 | 17 |

mais ces émissions n'en demeurent pas moins importantes. Par exemple, les émissions concentrées de monoxyde de carbone produites par le chauffage au bois des habitations représentent moins de 6 % des émissions nationales totales, mais elles constituent un problème très distinct des émissions de monoxyde de carbone par les véhicules automobiles, et leurs effets nocifs sur la santé ne doivent pas être sous-estimés.

Les dix millions et plus d'automobiles et de camions à moteur à essence qui ont circulé sur les routes canadiennes en 1985 ont émis environ 5,8 millions de tonnes de

**Figure 12**
**Tendances des concentrations de monoxyde de carbone dans l'air ambiant au Canada, 1977–1987**




SOURCE : Environnement Canada, 1987, 1988.

monoxyde de carbone, soit légèrement moins que la quantité produite au début des années 1970. Compte tenu du fait que, en 1985, il y avait au-delà de quatre millions de véhicules automobiles de plus — une augmentation d'environ 70 % — en circulation qu'en 1970 (figure 11), une telle réduction des émissions totales pendant cette période n'en est que plus significative. Ce succès est surtout attribuable aux convertisseurs catalytiques utilisés pour répondre aux normes fédérales de 1971 sur les émissions des véhicules automobiles (voir le chapitre VI). Le renforcement de ces normes en septembre 1987 devrait entraîner une réduction encore plus marquée des émissions de monoxyde de carbone.

Le monoxyde de carbone a des effets toxiques en raison de sa grande affinité avec l'hème des globules rouges du sang pour former la carboxyhémoglobine, qui amoindrit la capacité des globules rouges de transporter l'oxygène dans les tissus. Comme la respiration normale entraîne, dans le corps humain, la production de monoxyde de carbone, on trouve chez l'être humain en santé des concentrations de carboxyhémoglobine d'environ 0,05–1,0 %. Chez les sujets atteints de troubles hémolytiques, les concentrations sont généralement plus élevées. Des effets physiologiques se manifestent lorsque les concentrations de carboxyhémoglobine atteignent 2,5–3,0 %, ce qui entraîne un manque d'oxygène dans les tissus, une dette accrue d'oxygène et même l'infarctus fatal du myocarde dans les cas d'exposition à des concentrations d'environ 5000 ppm pendant quelques minutes ou d'exposition chronique à des concentrations d'environ 14 ppm (Chevalier et collab., 1966; Smith, 1968; Cohen et collab., 1969; Brody et Coburn, 1971).

L'exposition chronique d'animaux (rats et souris) au monoxyde de carbone a entraîné d'autres modifications physiologiques et comportementales comme l'altération de la perception du temps (Beard et Wertheim, 1967) et une perte constante d'oligo-éléments (Mazaleski et collab., 1970); cependant, il faut poursuivre les études sur cet aspect de la question avant de tirer des conclusions définitives.

L'exposition à des concentrations assez élevées de monoxyde de carbone (>2,0 %) présente des risques pour certains groupes, notamment les personnes souffrant de troubles cardiovasculaires, les fumeurs, les anémiques et probablement les personnes vivant à des altitudes élevées.

Le Comité fédéral-provincial de la pollution de l'air (1976) a recommandé à Environnement Canada des objectifs d'une heure et de huit heures seulement, soit des teneurs maximales souhaitables de 13 et 5 ppm et des teneurs maximales acceptables de 30 et 13 ppm, respectivement. Ces recommandations n'ont pas été modifiées lors de l'évaluation

plus récente (Comité consultatif fédéral-provincial sur la qualité de l'air, 1987*b*), sauf en ce qui a trait à la teneur maximale acceptable de huit heures pour laquelle le Comité a recommandé 11 ppm. Environnement Canada étudie actuellement cette recommandation.

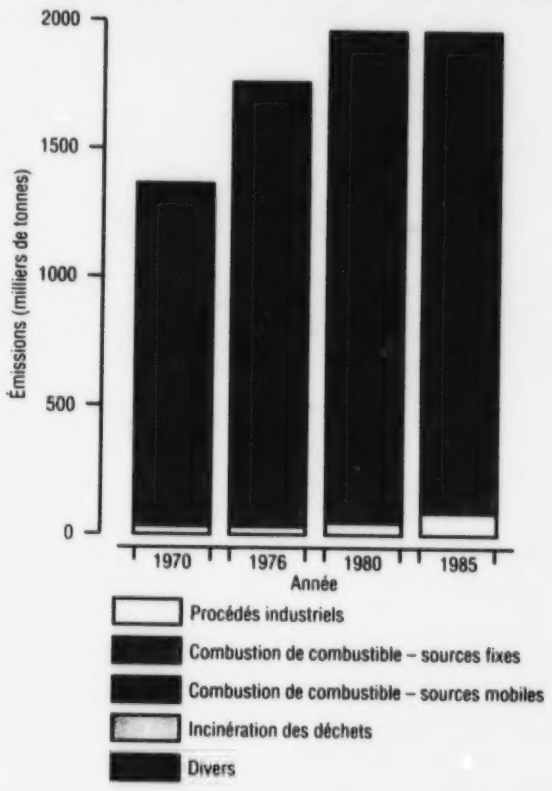
La surveillance de la qualité de l'air au Canada par le RNSPA indique que les concentrations moyennes de monoxyde de carbone pendant huit heures ont diminué d'environ 23 %, soit de 4,4 ppm en 1977 à 3,4 ppm en 1986 (figure 12) (Environnement Canada, 1987, 1988). La baisse générale des concentrations les plus élevées enregistrées dans tout le pays est encore plus encourageante. En 1986, les concentrations les plus fortes de monoxyde de carbone ont été signalées aux stations de surveillance de Toronto et de Calgary, mais ces concentrations ont dépassé pendant moins de 1 % du temps la teneur maximale acceptable de huit heures (objectif de qualité de l'air). En 1986, la teneur maximale admissible de huit heures a été dépassée sept fois à la station de surveillance de la rue Yonge à Toronto (Environnement Canada, 1988). Néanmoins, même à ces endroits, les objectifs de qualité de l'air ont été atteints dans 99 % des cas.

## Les oxydes d'azote

Le terme *oxydes d'azote* désigne un groupe de gaz composés uniquement d'oxygène et d'azote. L'oxyde nitrique (NO) et le dioxyde d'azote ($NO_2$) sont les deux oxydes d'azote les plus abondants dans l'atmosphère polluée. Étant donné que l'air contient 78 % d'azote et 21 % d'oxygène, les oxydes d'azote se forment rapidement par la réaction directe de ces éléments lors de procédés de combustion à haute température, pendant les processus biogènes naturels (surtout l'action bactérienne dans le sol), et lorsque des phénomènes comme la foudre, des activités volcaniques et des incendies de forêt se produisent. Les procédés de combustion produisent principalement de l'oxyde nitrique, mais celui-ci se transforme facilement et rapidement en dioxyde d'azote dans l'atmosphère, et c'est ce dernier polluant qui soulève des préoccupations en raison de ses effets sur la santé et l'environnement. Les autres oxydes d'azote, notamment l'oxyde nitreux ($N_2O$), le tétroxyde d'azote ($N_2O_4$), le trioxyde de diazote ($N_2O_3$) et le pentoxyde de diazote ($N_2O_5$), se forment également mais en concentrations faibles. Cependant, l'oxyde nitreux jouerait un rôle dans le réchauffement du globe (voir le chapitre V).

En 1985, la combustion à haute température des carburants utilisés dans les transports représentait près de 64 % des émissions totales. La même année, plus de 30 % des émissions d'oxydes d'azote au Canada provenaient des combustibles utilisés dans les habitations, les commerces, les usines et les centrales électriques. Les émissions ont augmenté d'environ 43 % de 1970 à 1985, principalement en raison d'une augmentation de la demande énergétique dans les transports (figure 13).

**Figure 13**
**Émissions d'oxydes d'azote au Canada, 1970–1985**




SOURCE : Environnement Canada, 1986; Vena, 1989.

Le gouvernement fédéral a signé un protocole international pour limiter d'ici le 31 décembre 1994 les émissions totales d'oxydes d'azote au niveau de 1987. On a établi des prévisions sur les émissions d'oxydes d'azote au Canada : celles-ci devraient augmenter de 6 % entre 1985 et 2005 (figure 14). L'introduction des convertisseurs catalytiques dans les années 1970 a permis de freiner considérablement le taux d'augmentation des émissions produites par les véhicules automobiles; néanmoins, on prévoit que ces émissions continueront d'augmenter en raison du nombre croissant des véhicules en circulation. Des restrictions plus rigoureuses sur les émissions des véhicules utilitaires légers fabriqués à compter du 1er septembre 1987 et sur les véhicules utilitaires lourds fabriqués à compter du 1er janvier

## Le devenir des oxydes d'azote dans l'atmosphère

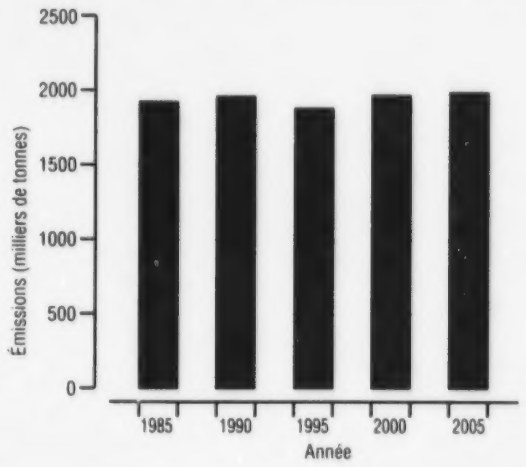
- Les processus de réaction des oxydes d'azote dans l'atmosphère et de retour au sol et dans l'eau sont complexes.
- Les durées moyennes du séjour de l'oxyde nitrique et du dioxyde d'azote dans l'atmosphère ont été estimées à quatre jours et à trois jours, respectivement.
- L'oxyde nitrique libéré dans l'atmosphère à de fortes concentrations est habituellement oxydé rapidement en dioxyde d'azote, qui est lui-même un polluant atmosphérique préoccupant susceptible de s'oxyder davantage en acide nitrique ou en nitrates (dont le nitrate d'ammonium), ou de réagir avec des composés organiques volatils en présence de la lumière solaire pour former l'ozone de la basse troposphère.
- Les oxydes d'azote peuvent causer des problèmes de pollution locale; cependant, comme ils peuvent rester en suspension dans l'air pendant plusieurs jours, notamment lorsqu'ils sortent de hautes cheminées, ces oxydes de même que leurs produits de réaction (sels, acides et ozone de la basse troposphère) risquent d'être transportés par le vent sur de grandes distances, souvent au-delà des frontières internationales.
- Les oxydes d'azote et leurs produits de réaction sont parfois transportés à des milliers de kilomètres de leur point d'origine; dans l'est de l'Amérique du Nord, le transport net se fait en direction nord-est, notamment au-delà de la frontière États-Unis–Canada.

1988 maintiendront ces niveaux près de ceux de 1985 jusqu'en 1995. Après cette date, on prévoit que les émissions totales augmenteront par suite d'une plus grande consommation de combustible par les industries et de carburant par les véhicules automobiles (voir le chapitre VI). Le gouvernement fédéral étudie actuellement les moyens de restreindre les émissions d'oxydes d'azote des moteurs à combustion interne non encore réglementés et de restreindre davantage les émissions produites par le secteur des transports (Transports Canada, 1989; Transports Canada/Environnement Canada, 1989) pour se conformer aux conditions du protocole international.

Des études sur les animaux indiquent que l'exposition pendant quatre heures au dioxyde d'azote à une concentration d'environ 500 ppb réduit la résistance des sujets aux infections bactériennes et virales (Ehrlich et Henry, 1968). Il se produit également une altération de la fonction pulmonaire et des paramètres morphologiques et biochimiques (Freeman et collab, 1966; Buell, 1970; Gregory et collab., 1983).

Les études cliniques sur les humains révèlent la perception d'odeurs et une réduction de la faculté d'adaptation à l'obscurité (adaptabilité à un éclairage faible d'un sujet ayant regardé une lumière vive) à des teneurs comprises entre 100 et 200 ppb pendant quelques minutes (Henschler, 1960; Salamberidze, 1967). On sait que les symptômes d'irritation et les effets sur la fonction pulmonaire se manifestent à des concentrations aussi faibles que 100 ppb, notamment chez les asthmatiques et les bronchitiques (Kerr et collab., 1979). Les études épidémiologiques montrent que les enfants sont particulièrement sujets à des effets comme la

**Figure 14**
**Émissions prévues d'oxydes d'azote au Canada jusqu'en 2005**

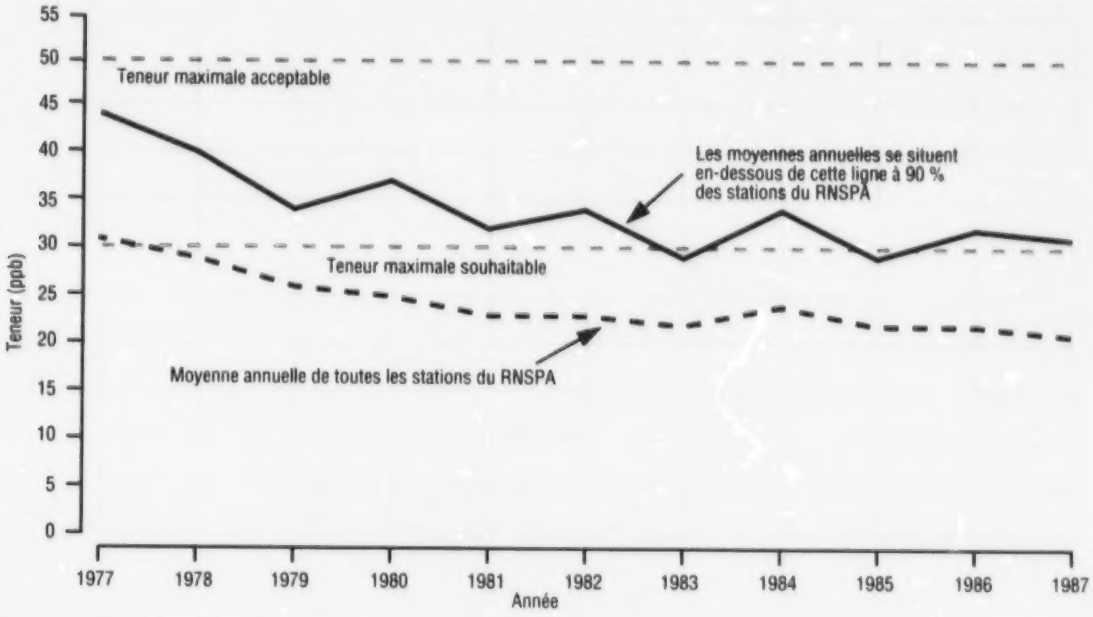



SOURCE : Vena, 1989.

**Les objectifs de qualité de l'air pour le dioxyde d'azote**

| Temps d'exposition | Teneur maximale souhaitable (ppb) | Teneur maximale acceptable (ppb) | Teneur maximale admissible (ppb) |
|---|---|---|---|
| Une heure | — | 210 | 530 |
| 24 heures | — | 110 | 160 |
| Un an | 30 | 50 | — |

**Figure 15**
**Tendances des concentrations de dioxyde d'azote dans l'air ambiant au Canada, 1977–1987**




SOURCE : Environnement Canada, 1987, 1988.

bronchite et l'altération de la fonction pulmonaire entraînés par l'exposition chronique au dioxyde d'azote à des concentrations d'environ 100 ppb (Shy et collab., 1970; Pearlman et collab., 1971).

Le dioxyde d'azote provoque un arrêt de la croissance des végétaux (Thompson et collab., 1970; Ashenden et Mansfield, 1978) et cause la corrosion des métaux, l'altération de la teinture des tissus et la dégradation des fibres textiles, des produits de caoutchouc et des polyuréthanes (National Academy of Sciences, 1979). Les effets anormaux sur les matériaux et les effets nocifs sur les végétaux sont observés à des expositions dont les concentrations sont plus élevées que celles ayant des effets nocifs sur la santé.

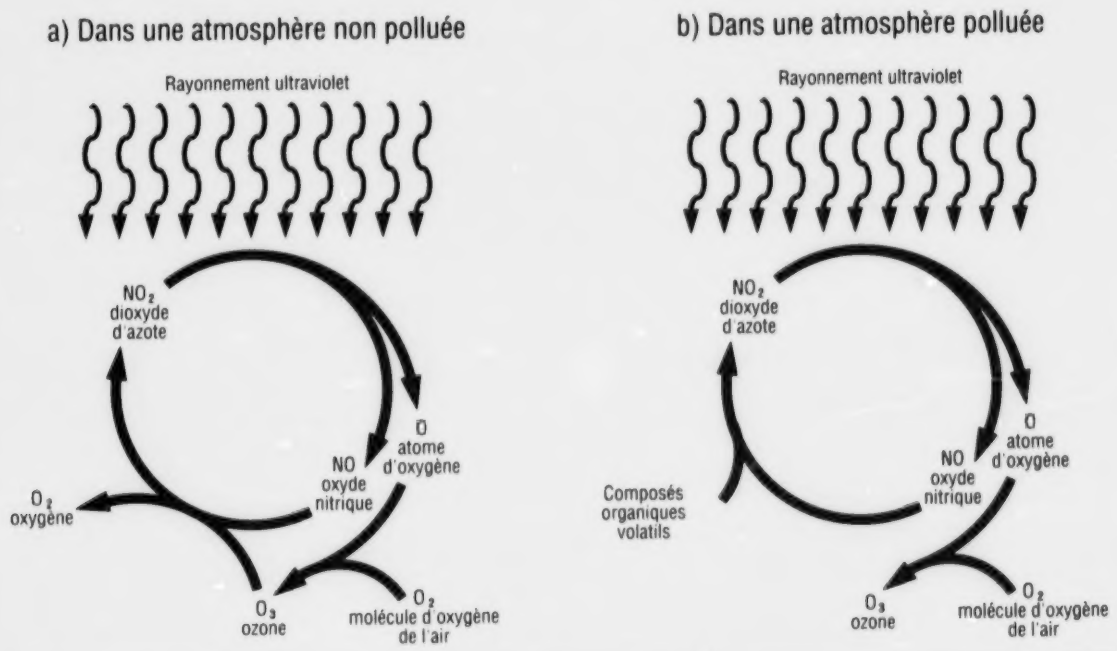
Par conséquent, les objectifs de qualité de l'air recommandés par le Comité fédéral-provincial de la pollution de l'air (1976) visent la protection de la santé. Les teneurs maximales moyennes acceptables pendant une heure, 24 heures et un an sont de 210, 110 et 50 ppb, respectivement. La moyenne annuelle recommandée pour la teneur maximale souhaitable est de 30 ppb. Ces objectifs font actuellement l'objet d'une révision.

Depuis 1978, la moyenne annuelle des concentrations de dioxyde d'azote mesurées par le RNSPA est constamment inférieure, au Canada, à la teneur maximale souhaitable de 30 ppb (objectif de qualité de l'air), malgré une augmentation du total des émissions au pays; elle a même affiché une baisse d'environ 25 % de 1977 à 1986 (figure 15) (Environnement Canada, 1987). Cette diminution des concentrations de dioxyde d'azote en milieu urbain malgré l'augmentation des émissions d'oxydes d'azote à l'échelon national s'explique par une baisse importante des émissions d'oxydes d'azote par les sources mobiles (transport) à la fin des années 1970 et au début des années 1980. En 1986, à plus de 90 % des stations de surveillance du RNSPA, la concentration moyenne annuelle de dioxyde d'azote était inférieure à 30 ppb, et la teneur maximale admissible (objectif de qualité de l'air) n'a pas été dépassée (Environnement Canada, 1986, 1988). La teneur maximale acceptable (objectif de qualité de l'air) pour une heure a été dépassée deux fois à Calgary et deux fois à Sault-Ste-Marie, et celle de 24 heures a été dépassée 29 fois à une station de surveillance de Montréal.

## L'ozone de la basse troposphère

L'ozone que l'on trouve dans la troposphère n'est pas émis sous forme de polluant mais résulte d'une série de réactions complexes des oxydes d'azote et des composés organiques volatils. Les réactions sont régies par l'énergie

**Figure 16**
**Formation de l'ozone troposphérique dans des atmosphères non polluée et polluée**




du rayonnement ultraviolet du Soleil. En l'absence de pollution (figure 16, a), l'ozone est produit et utilisé dans une réaction cyclique où sont présents des oxydes d'azote naturels, d'où des concentrations d'ozone assez constantes dans toute la troposphère. Dans l'air pollué, qui contient des concentrations élevées d'oxydes d'azote et de composés organiques volatils, l'équilibre naturel entre les oxydes d'azote naturels et l'ozone est rompu. Les composés organiques volatils réagissant plus rapidement à l'oxyde nitrique que l'ozone, les concentrations d'ozone augmentent. Ce phénomène se produit surtout dans la partie inférieure de la troposphère, soit jusqu'à 1,5 ou 2 km (van Hamm, 1988) (figure 16, b), d'où le terme *ozone de la basse troposphère*.

Des études sur les rats montrent qu'une exposition de courte durée (sept jours consécutifs) ou répétée à des concentrations d'ozone d'environ 200 ppb entraîne des dommages irréversibles à l'ensemble de leur appareil respiratoire (Plopper et collab., 1979; Barry et collab., 1983). Le degré des lésions aux tissus sensibles est davantage lié à la concentration d'ozone qu'à la durée d'exposition. L'exposition à l'ozone peut aussi avoir pour effet une altération de l'activité des macrophages et de la fonction immunitaire, qui risquent d'accentuer la prédisposition du sujet aux infections. On a observé ces effets chez des souris exposées à des concentrations d'ozone inférieures à 100 ppb pendant trois heures (Miller et collab., 1978).

Des études sur les humains montrent que les poumons des nouveau-nés et des enfants sont particulièrement vulnérables à une exposition répétée de courte durée ou à une exposition aiguë à des concentrations d'ozone d'environ 100 ppb, ce qui peut entraîner l'apparition d'une maladie pulmonaire chronique (Lippmann et collab., 1983). Les fumeurs, les asthmatiques et les personnes souffrant de maladies pulmonaires obstructives chroniques — considérés auparavant comme sous-groupes à risque — ne semblent pas plus vulnérables que les adultes en bonne santé (Lebowitz et collab., 1983). Le principal effet révélé par les études sur les humains est un diminution importante de la fonction pulmonaire.

L'ozone a également des effets importants sur les végétaux. Les études sur les dommages aux cultures de tabac dans le sud-ouest de l'Ontario (MacDowall et collab., 1963), aux arbres (Linzon, 1966), à divers légumes (Heagle et collab., 1979) et aux plantes herbacées d'ornement (Adedipe et collab., 1972) ne manquent pas. On a estimé récemment que les pertes annuelles de certaines récoltes, en Ontario, oscillaient

entre 1 et 12 % lorsque les concentrations moyennes saisonnières d'ozone atteignaient entre 40 et 50 ppb. D'après les estimations pour 1980, les dommages aux récoltes en Ontario se chiffraient à 23 millions de dollars et aux États-Unis, à 2 milliards de dollars (Heck et collab., 1982), à des concentrations d'ozone ne dépassant pas la norme de qualité de l'air établie par l'U.S. Environmental Protection Agency à 120 ppb pendant une heure. Les fortes concentrations d'ozone de courte durée sont le plus préoccupantes pour la santé, tandis que les concentrations moyennes pendant la saison de croissance ont des effets nocifs sur les végétaux.

Les objectifs de qualité de l'air au Canada touchant l'ozone sont parmi les plus stricts du monde. Il est à noter que ces objectifs nationaux sont conçus de façon à s'appliquer aux oxydants (ozone), parce que l'air pollué contient aussi d'autres oxydants comme le dioxyde d'azote et le nitrate de peroxyacétyle. On sait que ce dernier en particulier cause des dommages spécifiques caractéristiques aux végétaux (Stephens et collab., 1961). Cependant, l'ozone est l'oxydant qui soulève le plus de préoccupations. Les teneurs maximales souhaitables en oxydants (ozone) sont de 50 et 15 ppb pendant des moyennes d'une heure et de 24 heures, respectivement. D'après les recommandations du Comité fédéral-provincial de la pollution de l'air (1976), les teneurs maximales acceptables sont de 82, 25 et 15 ppb pour les moyennes d'une heure, de 24 heures et d'un an, respectivement. Les objectifs, notamment les teneurs maximales souhaitables, se fondent en grande partie sur les dommages aux végétaux, étant donné que les effets des oxydants (ozone) sur les récoltes se produisent à des concentrations bien inférieures à celles qui sont nocives pour la santé. Les objectifs sont actuellement en cours de révision.

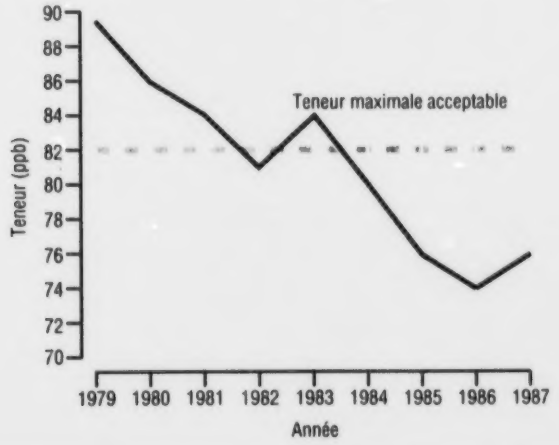
Les fortes concentrations d'ozone sont souvent observées dans les régions très peuplées du pays et à plusieurs centaines de kilomètres sous le vent de ces régions, où les véhicules automobiles, les procédés de combustion et les émissions industrielles constituent les principales sources des oxydes d'azote et des composés organiques volatils nécessaires à la formation d'ozone. La tendance de la moyenne des concentrations élevées d'ozone relevées de 1979 à 1987 à 45 stations de surveillance du RNSPA est présentée à la figure 17. Pendant cette période, la moyenne annuelle de ces concentrations est passée de 89 à 76 ppb, une baisse de 15 % (Dann, 1989*b*). La tendance générale à la baisse a été interrompue en 1983 et en 1987 à cause des concentrations

## La formation et le rôle de l'ozone dans l'atmosphère

La formation et le rôle de l'ozone, qui diffèrent selon l'endroit de l'atmosphère où celui-ci se forme et selon la présence ou l'absence de polluants, sont un aspect mal compris de la pollution et des changements atmosphériques.

| L'ozone troposphérique | L'ozone stratosphérique |
|---|---|
| • Jusqu'à 11 km de la surface de la Terre | • Entre 11 et 47 km au-dessus de la surface de la Terre |
| • Formé de deux façons : 1) en petite quantité (niveau naturel) à partir de l'oxygène produit par la foudre, dans la troposphère; 2) en grande quantité par des réactions photochimiques dans la partie inférieure de la troposphère (1,5–2 km), lorsque les concentrations de polluants sont élevées pendant l'été (on parle alors de l'ozone de la basse troposphère) | • Formé dans la stratosphère sous l'action du rayonnement ultraviolet du Soleil sur l'oxygène stratosphérique |
| • Agit aux niveaux naturels comme réactif essentiel dans les réactions chimiques bénéfiques de la troposphère | • Agit de concert avec l'oxygène stratosphérique pour réduire la quantité du rayonnement ultraviolet atteignant la surface de la Terre |
| • Peut avoir des effets nocifs sur la santé, les végétaux et les matériaux quand sa concentration dépasse les niveaux naturels | • Appauvri par la pollution, ce qui permet à une plus grande quantité de rayonnement ultraviolet d'atteindre la Terre |

**Figure 17**
**Baisse de la moyenne annuelle des fortes concentrations d'ozone au Canada**




SOURCE : Dann, 1989*b*.

## L'ozone de la basse troposphère dans la région métropolitaine de Vancouver et la vallée du Fraser

Depuis longtemps, l'ozone de la basse troposphère se forme à des concentrations élevées dans la région métropolitaine de Vancouver et la vallée inférieure du Fraser en Colombie-Britannique. La géographie de cette région, les conditions météorologiques associées aux brises de mer et les émissions locales d'oxydes d'azote et de composés organiques volatils constituent des conditions idéales à la formation d'ozone. On ignore l'importance du flux transfrontière à grande distance et à distance moyenne des polluants précurseurs d'ozone dans la région.

Entre 1979 et 1982, la teneur maximale acceptable de 82 ppb (objectif de qualité de l'air) pendant une heure a été fréquemment dépassée. Depuis ce temps, les stations de surveillance de la région métropolitaine de Vancouver ont toutefois enregistré une baisse de 32 %, en grande partie inexpliquée, dans la moyenne des concentrations maximales d'ozone relevées à toutes les stations. Dans la majorité des cas, la baisse s'est produite de 1981 à 1982 et en 1987. De 1979 à 1986, on a évalué à 11,5 % la diminution des émissions d'hydrocarbures des véhicules automobiles circulant sur les routes principales, tandis que celles des oxydes d'azote ont baissé d'environ 2 % entre 1982 et 1987. Ces faibles réductions des émissions d'hydrocarbures et d'oxydes d'azote expliquent difficilement la baisse importante des concentrations d'ozone de la basse troposphère. Selon certains, les changements dans les émissions d'hydrocarbures des véhicules automobiles pourraient être supérieurs aux estimations et la réactivité de ces émissions pourrait avoir diminué, rallongeant ainsi le temps de formation de l'ozone. Des conditions météorologiques différentes peuvent également expliquer les faibles concentrations d'ozone des dernières années. On a amélioré le réseau de surveillance de l'air ambiant pour déterminer si les précurseurs d'ozone sont transportés depuis le centre urbain vers la vallée du Fraser avant de réagir complètement pour former de l'ozone. On a aussi équipé deux stations afin de surveiller pour la première fois les composés organiques volatils. Un inventaire complet des sources et des émissions de polluants atmosphériques a été dressé (Greater Vancouver Regional District, 1988).

Les relevés météorologiques à long terme indiquent que, de 40 à 50 fois par année, on peut s'attendre à des concentrations d'ozone de la basse troposphère supérieures à 82 ppb pendant au moins trois heures consécutives (Wilson et collab., 1984). Dans le district régional du Vancouver métropolitain, les données de surveillance indiquent que la plus forte concentration d'ozone de la basse troposphère est enregistrée dans la partie est de la ville, ce qui, avec les données sur le vent, montre que l'ozone de la basse troposphère est probablement poussé plus à l'est dans la vallée du Fraser.

Le ministère de l'Environnement et celui de l'Agriculture et des Pêches de la Colombie-Britannique ainsi que d'autres organismes provinciaux ont entrepris une étude économique préliminaire pour analyser les dommages causés par l'ozone de la basse troposphère aux cultures. La valeur totale de la production de légumes, de fruits et de baies dans la vallée inférieure du Fraser atteignait environ 120 millions de dollars en 1983. Les dommages à ces cultures ainsi qu'à celles du fourrage et des céréales sont estimés à 9 millions de dollars (Wilson et collab., 1984).

élevées plus fréquentes aux stations de surveillance de l'est du Canada. D'après les données préliminaires, il semble que la moyenne des fortes concentrations d'ozone a été plus élevée en 1988 qu'en 1987.

Les concentrations d'ozone de la basse troposphère sont généralement assez élevées pour dépasser les objectifs canadiens de qualité de l'air, notamment pendant l'été lorsque l'air stagnant retient les polluants pendant plusieurs jours au-dessus de vastes régions du pays. En 1986, chaque ville du RNSPA a dépassé au moins une fois la teneur maximale acceptable à un moment ou à un autre. Le nombre moyen d'heures pendant lequel les concentrations d'ozone ont été supérieures à la teneur maximale acceptable de 82 ppb (objectif de qualité de l'air) aux 45 stations de surveillance du réseau (figure 17) a diminué de 41 % de 1979 à 1986, passant de 24,8 heures à 14,6 heures par année

**Les objectifs de qualité de l'air pour les oxydants (ozone)**

| Temps d'exposition | Teneur maximale souhaitable (ppb) | Teneur maximale acceptable (ppb) | Teneur maximale admissible (ppb) |
|---|---|---|---|
| Une heure | 50 | 82 | 150 |
| 24 heures | 15 | 25 | — |
| Un an | — | 15 | — |

(figure 18). Selon une étude de la fréquence relative des concentrations d'ozone supérieures à 82 ppb entre 1982 et 1986 dans les principales villes canadiennes du RNSPA, c'est dans la région comprise entre Windsor (Ontario) et la ville de Québec et dans le district régional du Vancouver

**Tableau 4**
**Concentrations moyennes d'ozone dans les régions rurales et les banlieues pendant la saison de croissance[a]**

| Endroit | Type de site | Concentration moyenne d'ozone (ppb) |
|---|---|---|
| Dartmouth (N.-É.) | Banlieue | 37 |
| Kejimkujik (N.-É.) | Milieu rural | 31 |
| Saint-Étienne (Qc) | Milieu rural | 39 |
| Saint-Zéphirin (Qc) | Milieu rural | 41 |
| Saint-Barnabé (Qc) | Milieu rural | 39 |
| Dorset (Ont.) | Milieu rural | 40 |
| Stouffville (Ont.) | Banlieue | 41 |
| Simcoe (Ont.) | Milieu rural | 49 |
| Madaumin (Ont.) | Milieu rural | 48 |
| Huron Park (Ont.) | Milieu rural | 45 |
| Guelph (Ont.) | Banlieue | 44 |
| Winnipeg (Man.) | Banlieue | 29 |
| Saskatoon (Sask.) | Banlieue | 25 |
| Edmonton (Alb.) | Banlieue | 35 |
| Calgary (Alb.) | Banlieue | 37 |
| Mont Fortress (Alb.) | Milieu rural | >43 |
| Mont Birch (Alb.)[b] | Milieu rural | 36 |
| Kelowna (C.-B.) | Banlieue | 36 |
| Abbotsford (C.-B.) | Milieu rural | 33 |
| Lac Seymour (C.-B.) | Milieu rural | 36 |
| Surrey (C.-B.) | Milieu rural | 33 |

SOURCE : Dann, 1989*b*.

[a] Entre 9:00 et 16:00, juin–août 1987.
[b] De 1981 à 1983.

métropolitain que cette fréquence a été le plus élevée (figure 19). On a signalé, en 1988, que la teneur maximale acceptable d'une heure a été dépassée 157 fois à North York, une banlieue de Toronto, 122 fois à Oakville, 189 fois à Windsor et 149 fois à London. En 1986, la teneur maximale admissible (objectif de qualité de l'air) n'a pas été dépassée.

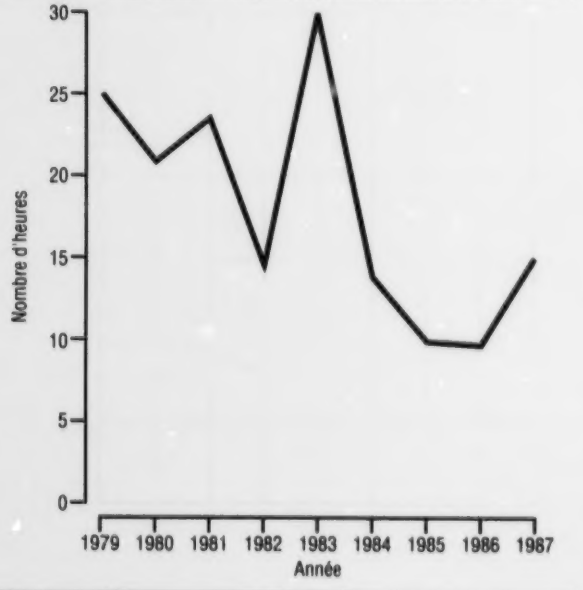
On a proposé, comme indicateur possible des dommages causés aux récoltes par l'ozone, la concentration moyenne d'ozone de la basse troposphère mesurée en juin, juillet et août (mois clés pour la croissance des végétaux) entre 9:00 et 16:00 (période de photosynthèse intense). On a aussi proposé une concentration moyenne inférieure à 32 ppb pendant cette période, dite saison de croissance, comme objectif de qualité de l'air dans le but de prévenir les dommages aux végétaux fragiles. Les données fournies par les stations de surveillance en milieu rural et dans les banlieues en 1987 au Canada indiquent que cette concentration est dépassée à la majorité des endroits (tableau 4). En milieu rural, l'ozone de la basse troposphère peut provenir des régions urbaines avoisinantes ou éloignées, des oxydes d'azote et des composés organiques volatils émis par des sources rurales naturelles et anthropiques, ou du transport d'ozone venant d'autres régions de la troposphère.

## Les hydrocarbures

Le total des émissions d'hydrocarbures au Canada a augmenté d'environ 15 % de 1970 à 1985 (figure 20). En 1985, les sources mobiles (transport) et les procédés industriels ont été à l'origine de plus de 66 % de ces émissions. Les émissions attribuables au transport ont baissé d'environ 20 % entre 1970 et 1985 grâce aux mesures antipollution; les émissions industrielles, en grande partie non réglementées, ont augmenté de 60 %, et les émissions provenant de la commercialisation des carburants, du nettoyage à sec, des revêtements de surface et du brûlage des déchets ligneux de l'exploitation forestière ont augmenté de 38 %. D'après la figure 20, les émissions produites par la combustion de combustibles semblent avoir quadruplé; cependant, l'augmentation s'explique par les changements dans le calcul des émissions en 1985, et les valeurs de cette année-là et des années subséquentes ne doivent pas être comparées à celles des années antérieures.

Les concentrations et les tendances des hydrocarbures dans l'air ambiant ne sont pas mesurées régulièrement, le nombre et la variété de ces substances présentes dans l'air — plusieurs milliers de composés différents parfois — rendant l'interprétation des résultats pratiquement impossible sur le plan de la protection de la santé et de l'environnement. En

**Figure 18**
**Baisse du nombre d'heures où l'objectif de qualité de l'air d'une heure (82 ppb) pour l'ozone a été dépassé au Canada, 1979–1987**

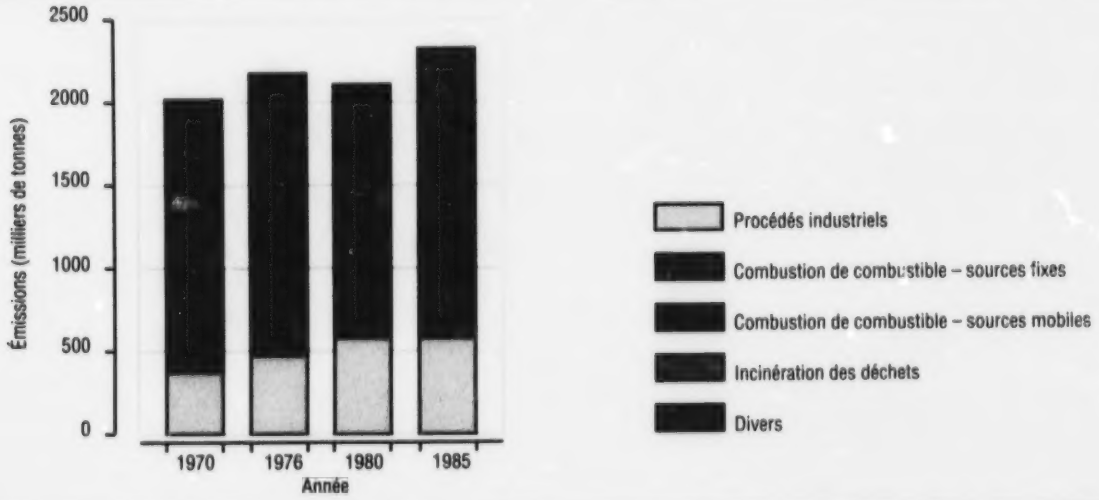



SOURCE : Dann, 1989*b*.

**Figure 19**
**Nombre de jours par année où les concentrations d'ozone ont dépassé l'objectif de qualité de l'air établi à 82 ppb pendant une heure**

SOURCE : Dann, 1989*b*.

**Figure 20**
**Émissions d'hydrocarbures au Canada, 1970–1985**




SOURCE : Environnement Canada, 1986; Vena, 1989.

## La volatilité de l'essence

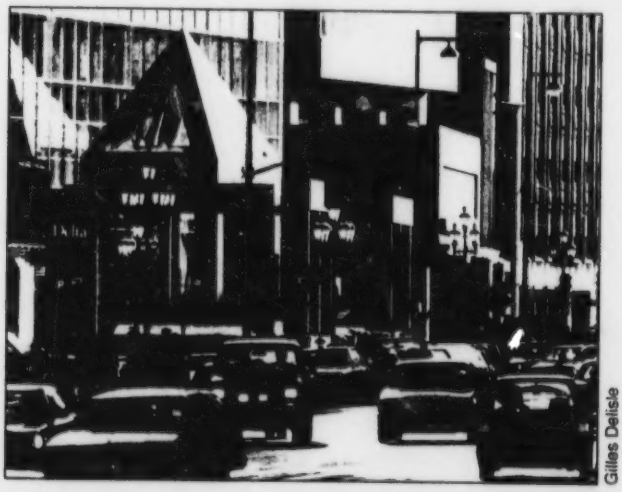
L'essence possède cette propriété souhaitable de se mélanger facilement et entièrement avec l'air pour former un mélange carburé à différentes températures, ce qui permet aux véhicules automobiles de démarrer, de se réchauffer et de rouler sans secousses. La composition de l'essence étant déterminante à cet égard, elle constitue un facteur important de la qualité du produit. Cependant, comme les essences canadiennes sont très volatiles, leur production, leur distribution et leur utilisation au pays représentent plus de 50 % des émissions totales de composés organiques volatils dans l'atmosphère, sans compter les sources naturelles. Les composés organiques volatils provenant de l'évaporation de l'essence favorisent la production d'ozone de la basse troposphère et peuvent constituer un danger pour la santé s'ils sont inhalés.

Depuis les années 1970, on a tendance à produire de l'essence dont la volatilité est encore plus grande. L'un des moyens d'élever la volatilité de l'essence est d'augmenter sa teneur en butane au cours du procédé de raffinage. Toutefois, la réduction de la volatilité du carburant permettrait de limiter l'évaporation de l'essence des carburateurs et des réservoirs et les pertes occasionnées quand les automobilistes font le plein. Cette dernière opération représente environ 40 % des émissions de composés organiques volatils produites par les véhicules automobiles; le reste de ces émissions provient des imbrûlés libérés par les pots d'échappement. Les ministres fédéraux et provinciaux de l'Environnement ont décidé de prendre des mesures pour réduire la volatilité de l'essence au Canada, compte tenu de la nécessité de limiter l'ozone de la basse troposphère dans les différentes régions du pays (CCMRE, 1989).

D'autres facteurs influent également sur la volatilité du carburant, avec les conséquences que cela comporte pour l'environnement. La volonté de trouver des substituts au plomb ajouté comme antidétonant dans l'essence et des solutions de rechange moins coûteuses aux carburants à base de pétrole a incité les détaillants d'Amérique du Nord à lancer sur le marché des mélanges d'essence et d'alcool à titre d'essai. L'addition directe d'alcool à l'essence accroît la volatilité du mélange. On peut faire en sorte que la volatilité de ces mélanges se rapproche étroitement de celle de l'essence en enlevant de celle-ci, avant de procéder au mélange, certains des éléments plus volatils, mais ce procédé est coûteux.

Il y a un aspect positif et un aspect négatif à l'utilisation de carburants mélangés d'alcool. Dans le cas des automobiles munies de dispositifs antipollution, la combustion du mélange alcool–essence produit des gaz d'échappement à teneur plus faible en monoxyde de carbone et en composés organiques volatils que la combustion d'essence de même volatilité. Les émissions d'alcool imbrûlé et d'aldéhyde sont plus importantes quand elles proviennent de mélanges, tandis que les émissions d'oxydes d'azote sont comparables pour les deux types de carburant.

D'après les indices recueillis, les mélanges méthanol–essence présenteraient un potentiel moins élevé que l'essence pure quant à la formation d'ozone de la basse troposphère, mais cet avantage est annulé par une augmentation des aldéhydes émis, lesquels ont un potentiel élevé quant à la formation d'ozone de la basse troposphère.



Gilles Delisle

Émission d'hydrocarbures par la combustion du carburant à l'heure de pointe dans le centre-ville de Montréal

général, c'est pour des raisons précises que l'on mesure des composés donnés ou certaines fractions de la teneur totale de l'air en hydrocarbures : par exemple, on s'intéresse aux composés organiques volatils parce qu'ils favorisent la production d'ozone de la basse troposphère, au benzène parce qu'il est connu comme agent oncogène et au méthane parce qu'il contribue au réchauffement de la planète par l'effet de serre. Ces problèmes et d'autres associés aux hydrocarbures et à la pollution de l'air sont exposés ailleurs dans le présent rapport (voir les chapitres IV et V).

## Références


Adedipe, N.O., R.E. Barrett et D.P. Ormond. 1972. Phytotoxicology and growth responses of ornamental bedding plants to ozone and sulfur dioxide. Journal of the American Society of Horticultural Science, 97:341–345.

Ashenden, T.W., et T.A. Mansfield. 1978. Extreme pollution sensitivity of grasses when $SO_2$ and $NO_2$ are present in the atmosphere together. Nature (London), 273:142–143.

Barry, B.E., F.J. Miller et J.D. Crapo. 1983. Alveolar epithelial injury caused by inhalation of 0.25 ppm of ozone. Advances in Modern Environmental Toxicology, 5:299–309.

Beard, R.R., et G.A. Wertheim. 1967. Behavioural impairment associated with small doses of carbon monoxide. American Journal of Public Health, 57:2012–2022.

Brody, J., et R. Coburn. 1971. Effects of elevated carboxyhemoglobin on gas exchange in the lung. Annals of the New York Academy of Sciences, 174:255–260.

Buell, G.C. 1970. Biochemical parameters in inhalation carcinogenesis. Page 209 dans « Inhalation carcinogenesis ». M.G. Hanna, P. Nettesheim et J.R. Gilbert (réd.). U.S. Atomic Energy Commission, Oak Ridge, TN.

CCMRE (Conseil canadien des ministres des Ressources et de l'Environnement). 1989. Communiqué. 19 avril, Toronto.

Chevalier, R.B., R.A. Krumholz et J.C. Ross. 1966. Reactions of non-smokers to carbon monoxide inhalation: Cardiopulmonary responses at rest and during exercise. Journal of the American Medical Association, 101:1061–1064.

Cohen, S.L., M. Deane et J.R. Goldsmith. 1969. Carbon monoxide and myocardial infarction. Archives of Environmental Health, 19:510–517.

Comité consultatif fédéral-provincial sur la qualité de l'air. 1987*a*. Révision des objectifs nationaux en matière de qualité de l'air ambiant pour l'anhydride sulfureux : teneurs souhaitables et acceptables. N° de catalogue EN42–17/2–1987F, Approvisionnements et Services Canada.

Comité consultatif fédéral-provincial sur la qualité de l'air. 1987*b*. Révision des objectifs nationaux en matière de qualité de l'air ambiant pour le monoxyde de carbone : teneurs souhaitables et acceptables. N° de catalogue EN42–17/1–1987F, Approvisionnements et Services Canada.

Comité fédéral-provincial de la pollution de l'air. 1976. Criteria for national air quality objectives: Sulphur dioxide, suspended particulates, carbon monoxide, oxidants (ozone) and nitrogen dioxide. Publié avec l'autorisation de Pêches et Environnement Canada, Ottawa.

Dann, T. 1989*a*. Communication personnelle, 23 mai, Environnement Canada, Ottawa.

Dann, T. 1989*b*. Canadian urban monitoring programs for $O_3$, $NO_x$ and VOC. Présenté au Seminar on the Contemporary Oxidant Problem, 27–28 février, Vancouver.

Dodge, R. 1983. The respiratory health and lung function of Anglo-American children in a smelter town. American Review of Respiratory Disease, 127:158–161.

Ehrlich, R., et M.C. Henry. 1968. Chronic toxicity of nitrogen dioxide. Effect on resistance to bacterial pneumonia. Archives of Environmental Health, 17:860–865.

Ellison, J.M., et R.E. Waller. 1978. A review of sulphur dioxide and particulate matter as air pollutants with particular reference to effects on health in the United Kingdom. Environmental Research, 16:302–325.

Environnement Canada. 1986. Émissions des principaux polluants atmosphériques au Canada et tendances (1970 à 1980). Rapport SPE 7/AP/17, Protection de l'environnement, Ottawa.

Environnement Canada. 1987. Évolution de la qualité de l'air au Canada en milieu urbain : 1974 à 1985. Rapport SPE 7/UP/2, Protection de l'environnement, Ottawa.

Environnement Canada. 1988. Surveillance nationale de la pollution atmosphérique. Extrait annuel. 1986. Rapport SPE 7/AP/19, Protection de l'environnement, Ottawa.

Ericsson, G.E. et P. Camner. 1983. Health effects of sulphur oxides and particulate matter in ambient air. Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, 2 (Suppl. 3):1–51.

Freeman, G., N.J. Furiosi et G.B. Hayden. 1966. Effects of continuous exposure to 0.8 ppm $NO_2$ on respiration rate of rats. Archives of Environmental Health, 13:454–456.

Greater Vancouver Regional District. 1988. Lower mainland emission inventory. Pollution Control, Vancouver.

Greenburg, L., F. Field, C. Erhardt, M. Glasser et J. Reed. 1967. Air pollution, influenza, and mortality in New York City. Archives of Environmental Health, 15:430–438.

Gregory, R.E., J.A. Pickrell, F.F. Hahn et C.H. Hobbs. 1983. Pulmonary effects of intermittent subacute exposure to low-level nitrogen dioxide. Journal of Toxicology and Environmental Health, 11:405–414.

Heagle, A.S., R.B. Philbeck et W.M. Knott. 1979. Thresholds for injury, growth, and yield loss caused by ozone on field corn hybrids. Phytopathology, 69:21–26.

Heck, W.W., O.C. Taylor, R. Adams, G. Bingham, J. Miller, E. Preston et L. Weinstein. 1982. Assessments of crop loss from ozone. Journal of the Air Pollution Control Association, 26:325–333.

Henschler, D. 1960. The odour threshold of some important irritant gases (sulphur dioxide, ozone, nitrogen dioxide) and the manifestation of the effect of small concentrations on man. Archiv fuer Gewerbepathologie und Gewerbehygiene, 17:547–570.

Holland, W.W., A.E. Bennett, I.R. Cameron, C. Florey, S.R. du V. Leeder, R.S.F. Schilling, A.V. Swan et R.E. Waller. 1979. Health effects of particulate pollution: Reappraising the evidence. American Journal of Epidemiology, 110:525–659.

Katz, M. 1962. La pollution de l'air vue comme problème régional au Canada. Pages 129–177 dans « Les ressources et notre avenir : tome supplémentaire aux mémoires présentés pour la conférence », octobre 1961, Montréal.

Katz, M. 1963. Air pollution in Canada — current status report. American Journal of Public Health and the Nation's Health, 53:173–184.

Kerr, H.D., T.J. Kulle, M.L. McIlhany et P. Swidersky. 1979. Effects of nitrogen dioxide on pulmonary function in human subjects: An environmental chamber study. Environmental Research, 19:392–404.

Kirkpatrick, M.B., D. Sheppard, J.A. Nadel et H.A. Boushey. 1982. Effect of the oronasal breathing route on sulfur dioxide-induced bronchoconstriction in exercising asthmatic subjects. American Review of Respiratory Disease, 125:627–631.

Lebowitz, M.D., C.J. Holberg et R.R. Dodge. 1983. Respiratory effects on populations from low-level exposures to ozone. Présenté à la 76e réunion annuelle de l'Air Pollution Control Association, 19–24 juin, Atlanta, GA.

Linn, W.S., D.A. Shamov, K.R. Anderson, J.D. Whynot, E.L. Aval et J.D. Hackney. 1985. Effects of heat and humidity on the responses of exercising asthmatics to sulfur dioxide exposure. American Review of Respiratory Disease, 131:221–225.

Linzon, S.N. 1966. Damage to eastern white pine by sulphur dioxide, semi-mature tissue needle blight and ozone. Journal of the Air Pollution Control Association, 16:140–144.

Lippmann, M., P.J. Lioy, G. Leikanf, K.B. Green, D. Baxter, M. Morandi, B.S. Pasternak, D. Fife et F.E. Speizer. 1983. Effects of ozone on the pulmonary function of children. Advances in Modern Environmental Toxicology, 5:423–446.

MacDowall, F.D.H., L.S. Vickery, V.C. Runeckles et Z.A. Patrick. 1963. Ozone damage to tobacco in Canada. Enquête phytosanitaire nationale, 43:131–151.

Martin, A.E. 1964. Mortality and morbidity statistics and air pollution. Proceedings of the Royal Society of Medicine, 57:969–975.

Mazaleski, S.C., R.L. Coleman, R.C. Duncan et C.A. Nan. 1970. Subcellular, trace metal alterations in rats exposed to 50 ppm of carbon monoxide. American Industrial Hygiene Association Journal, 31:183–188.

Miller, F.J., J.W. Illing et D.E. Gardner. 1978. Effect of urban ozone levels on laboratory induced respiratory infections. Toxicology Letters, 2:163–169.

National Academy of Sciences. 1979. Medical and biological effects of environmental pollutants—nitrogen dioxide. U.S. National Research Council, Washington, DC.

Paine, P.J. 1989. Perspectives on sulphur dioxide abatement in Canada. Présenté à la 91e Assemblée générale annuelle de l'ICM (Institut canadien des mines et de la métallurgie), du 30 avril au 4 mai, Québec.

Pearlman, M.E., J.F. Finklea, J.P. Creason, C.M. Shy, M.M. Young et R.V.M. Horton. 1971. Nitrogen dioxide and lower respiratory illness. Pediatrics, 47:391–398.

Plopper, C.G., D.L. Dungworth, W.S. Tyler et C.K. Chow. 1979. Pulmonary alterations in rats exposed to 0.2 and 0.1 ppm ozone: A correlated morphological and biochemical study. Archives of Environmental Health, 34:390–395.

Salamberidze, O.P. 1967. Reflex effects of mixtures of sulphur and nitrogen dioxides. Hygiene and Sanitation (U.R.S.S.), 32:7–10.

Sawicki, F. 1969. Chronic non-specific respiratory diseases in the city of Cracow. IX. The cross-section study. Epidemiological Review, 23:242–252.

Schachter, E.N., T.J. Witek, G.J. Beck, H.R. Hosein, G. Colice, B.P. Leaderer et W. Cain. 1984. Airway effects of low concentrations of sulfur dioxide. Dose-response characteristics. Archives of Environmental Health, 39:34–42.

Shy, C.M., J.P. Creason, M.E. Pearlman, K.E. McClain et F.B. Benson. 1970. The Chattanooga school children study: Effects of community exposure to nitrogen dioxide. Journal of the Air Pollution Control Association, 20:539–545, 582–588.

Smith, R.G. 1968. Discussion of pathophysiologic determinants of community air quality standards for carbon monoxide. Journal of Occupational Medicine, 10:456–462.

Stacy, R.W., E. Seal, D.E. House, J. Green, L.J. Roger et L. Raggio. 1983. A survey of effects of gaseous and aerosol pollutants on pulmonary function of normal males. Archives of Environmental Health, 38:104–115.

State of California Air Resources Board. 1982. California ambient air standard for particulate matter (PM-10). Sacramento, CA.

Stephens, E.R., E.F. Darley, D.C. Taylor et W.E. Scott. 1961. Photochemical reaction products in air pollution. International Journal of Air and Water Pollution 1:79–100.

Thompson, C.R., E.G. Hensel, G. Kats et O.C. Taylor. 1970. Effects of continuous exposure of navel oranges to nitrogen dioxide. Atmospheric Environment, 4:349–355.

Transports Canada. 1989. Déclaration d'intention de préparer une évaluation de l'incidence de la réglementation relative à des normes d'émission plus strictes pour les moteurs à combustion interne et pour les carburants qui alimentent ces moteurs. Page 3141 dans la Gazette du Canada, Partie I, 8 juillet.

Transports Canada/Environnement Canada. 1989. Un plan visant à déterminer et à évaluer les possibilités de réduire les émissions dans le domaine des transports et au niveau des moteurs industriels et des carburants. TP 9773F. Ottawa.

U.S. Environmental Protection Agency. 1982. Review of the national air quality standards for particulate matter: Assessment of scientific and technical information. EPA–450/5–82–001, janvier.

U.S. Environmental Protection Agency. 1987. Revisions to the national ambient air quality standards for particulate matter. Federal Register, 52(26):24634–24750.

van Hamm, J. 1988. Air quality standards for ozone and the free troposphere. The International Journal of Air Pollution Control and Waste Management, 38:1368–1369, 1466.

Vena, F. 1989. Communication personnelle, 22 juin, Environnement Canada.

Wilson, R.G., J.B. Mills et E.P. Wituschek. 1984. A report on the assessment of photochemical oxidants in the lower mainland. Greater Vancouver Regional District, Environnement Canada, Vancouver. (Mise à jour de 1987, ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique, Victoria.)

Witek, T.J., et E.N. Schachter. 1985. Airway response to sulfur dioxide and methacholine in asthmatics. Journal of Occupational Medicine, 27:265–268.

*Chapitre IV*

# Les méthodes applicables à l'étude des polluants atmosphériques toxiques

## Introduction

Il existe des centaines de polluants atmosphériques toxiques qui peuvent pénétrer dans l'atmosphère de nombreuses façons. Une étude récente réalisée aux États-Unis a révélé que les concentrations et les sources de polluants atmosphériques toxiques peuvent varier de façon notable selon l'emplacement (d'une ville à l'autre et d'un quartier à l'autre) et être fortement influencées par des sources locales et répandues de matières polluantes, notamment les véhicules automobiles, les poêles à bois, la combustion du mazout et du gaz, les industries métallurgiques, la fabrication de produits chimiques, la commercialisation de l'essence, l'utilisation de solvants et l'élimination des huiles usées (Haemisegger et collab., 1985). Les auteurs de l'étude ont également observé que des industries sont à l'origine de certains problèmes liés aux polluants atmosphériques toxiques ou les aggravaient. Cependant, dans l'ensemble, la base de données n'est pas suffisamment complète pour permettre de caractériser avec exactitude la majorité des problèmes locaux. Les auteurs ont constaté que les sources de polluants atmosphériques toxiques à l'intérieur des locaux ont d'importantes incidences sur la santé. En outre, les lieux de stockage et d'élimination des déchets toxiques et les produits de consommation constituent d'autres sources de polluants toxiques dans l'atmosphère.

Compte tenu des similitudes qui existent entre le Canada et les États-Unis — la taille des principales villes, les modes de vie et les occupations de leurs habitants et la nature des industries de transformation et de services —, il est probable que les problèmes liés aux polluants atmosphériques toxiques soient similaires dans les deux pays. Cette hypothèse repose sur certains indices, bien qu'aucune étude semblable à celle mentionnée plus haut n'ait été réalisée au Canada afin d'évaluer l'envergure réelle du problème à l'échelon national. Ainsi, dans les deux pays, on a établi des normes nationales quant aux émissions industrielles de polluants comme l'amiante, le mercure, le chlorure de vinyle et le plomb. On a aussi pris des mesures afin de réduire la teneur en plomb de l'essence, d'éliminer la production, l'importation et l'utilisation des biphényles polychlorés (BPC), d'élaborer des exigences plus rigoureuses touchant l'homologation des pesticides, d'interdire l'utilisation de certains pesticides et de mettre en œuvre des programmes de sensibilisation et de protection destinés aux utilisateurs de ces substances. Cependant, les émissions de centaines d'autres polluants atmosphériques toxiques ne sont ni réglementées ni limitées d'aucune façon, et des études de surveillance démontrent que les concentrations de ces matières dans l'air ambiant sont similaires dans les deux pays. Selon Carhart et Walsh (1988), les émissions des voitures constitueraient une source importante de polluants toxiques dans l'atmosphère.

Les polluants atmosphériques toxiques sont si nombreux qu'il est impossible d'aborder ici chacun d'entre eux. Les sections qui suivent donnent plutôt des exemples des façons dont on aborde les problèmes causés par ces polluants :

1) étude d'un seul élément chimique à la fois, comme le plomb;
2) étude d'une catégorie de substances chimiques comme les composés organiques volatils (COV) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP);
3) étude d'une activité particulière, comme le chauffage au bois; ou
4) étude d'un secteur géographique donné comme Junction Triangle, une petite zone industrielle de Toronto, caractérisée par des problèmes de pollution.

Les polluants toxiques dans l'atmosphère constituent l'un des grands dossiers de l'avenir. Bon nombre de ces polluants ont aussi été relevés dans les eaux de surface, les sédiments, l'eau potable et les aliments, et certains de ces milieux ont indubitablement été contaminés par des polluants émis, à l'origine, dans l'atmosphère. Il importe également de tenir compte de l'exposition du public à toutes les sources de polluants à l'intérieur et à l'extérieur des locaux (Smith, 1988). Les études présentées ci-dessous fournissent des renseignements utiles au sujet des sources et des concentrations de certains polluants atmosphériques toxiques à l'extérieur des locaux.

## Étude d'un élément chimique : le plomb

Le plomb est un métal polyvalent dont l'utilisation est très répandue depuis plus de 4000 ans, en raison principalement de son faible point de fusion, de sa masse volumique

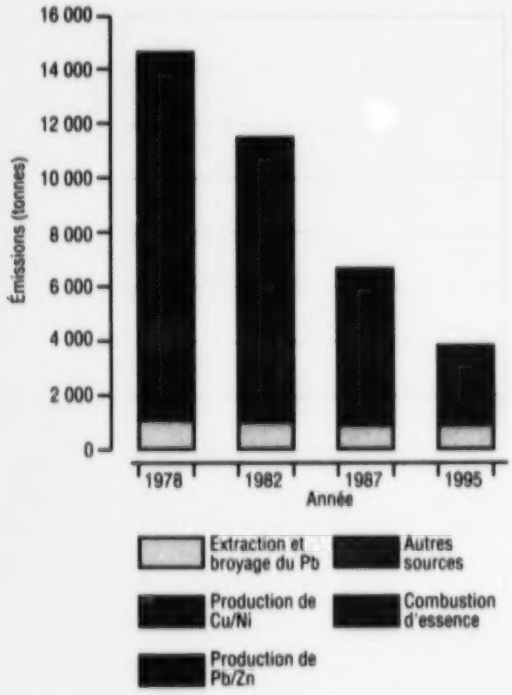
élevée et de sa résistance à la corrosion. De nos jours, le plomb sert le plus souvent en soudure ainsi que dans la fabrication de conduits, de matériaux de couverture, de batteries d'accumulateurs, de peintures, de contenants résistant à la corrosion, de poids, de cartouches et du cristal. Depuis près de 70 ans, on se sert de composés organiques du plomb comme antidétonant que l'on ajoute à l'essence pour améliorer son indice d'octane. Au cours des dernières années, les plus importantes sources d'émissions atmosphériques ont été la combustion d'essence dans les véhicules automobiles et les sources industrielles : l'extraction et le broyage des minerais de plomb, de cuivre et de nickel et la production de fer et d'acier. On s'attend que la situation change d'ici 1995 (figure 21).

Le plomb étant souvent employé à l'état relativement pur, son recyclage est rentable. Les fonderies de seconde fusion, c'est-à-dire les usines qui recyclent des rebuts et d'autres matières contenant du plomb afin de produire du plomb affiné, des alliages de plomb ou des oxydes de plomb, émettent du plomb dans l'atmosphère, mais elles ne comptent pas parmi les principales sources de ce polluant dans l'air. Les émissions de ces installations — on en comptait 51 au Canada en 1984 — suscitent des préoccupations, car les fonderies ont tendance à être situées dans les zones urbaines plutôt que dans les zones rurales, comme la majorité des importantes sources industrielles de plomb dans l'atmosphère.

Le plomb est une substance toxique qui ne joue aucun rôle physiologique connu chez les êtres humains. Il entrave toute une gamme de processus biochimiques et l'on a démontré qu'il avait des effets nuisibles sur de nombreux tissus et systèmes organiques, dont les plus touchés sont le système nerveux central et le système nerveux périphérique, les reins et le sang. L'absorption du plomb par ingestion constitue habituellement la principale voie d'exposition. Le plomb en suspension dans l'air inhalé sous forme de petites particules passe facilement des poumons au sang.

On détermine couramment si une personne a été récemment exposée au plomb en mesurant la teneur en plomb de son sang, bien que les teneurs en plomb des os, des dents et des autres tissus, dont le dosage est beaucoup plus difficile, puissent mettre en évidence une exposition chronique. Les enfants, particulièrement ceux en très bas âge, sont plus vulnérables aux effets du plomb que les adultes; on dispose de plus en plus de preuves scientifiques selon lesquelles il existe un lien entre des concentrations de plomb de l'ordre de 10 à 25 µg/dL de sang et divers effets biochimiques et neurocomportementaux nuisibles et d'autres effets non apparents. Le plomb qui se trouve dans le sang d'une femme enceinte traverse facilement la barrière placentaire; l'exposition au plomb dans l'utérus soulève donc certaines préoccupations. Chez les adultes dont le sang présente des teneurs similaires, on a observé qu'il pouvait se produire une augmentation de la tension artérielle, mais ces observations prêtent à discussion.

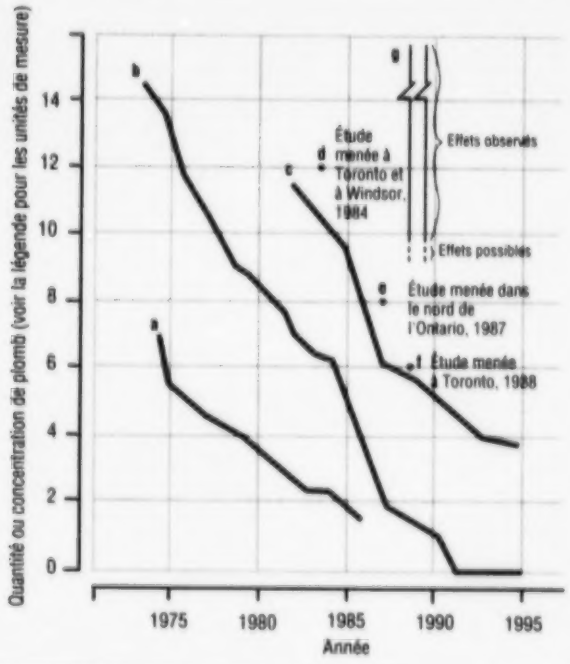
**Figure 21**
**Répartition des émissions de plomb au Canada, 1978–1995**




Source : Environnement Canada, 1983, 1985; Jaques, 1988*a*.

L'atmosphère ne constitue peut-être pas la plus importante voie d'exposition au plomb, et le plomb de l'essence ne représente pas toujours la plus importante source de contamination. Dans certaines circonstances, il peut y avoir une source locale dominante, comme une fonderie. Dans d'autres, ce sont les aliments, le sol, la poussière, la peinture ou l'eau potable contaminés qui contribuent peut-être le plus à l'apport total de plomb. Chez les jeunes enfants qui mettent leurs doigts ou d'autres objets dans leur bouche, on croit que l'ingestion du plomb présent dans la poussière et le sol constitue une importante voie d'exposition.

**Figure 22**
**Tendances des concentrations de plomb dans l'air ambiant, tendances des émissions de plomb, et concentrations de plomb dans le sang**




SOURCE : D'après des renseignements obtenus d'Environnement Canada, de Santé et Bien-être social Canada et du ministère de la Santé de l'Ontario (1985, 1990), et de Smith (1990).

a — Concentration de plomb dans l'air ambiant (µg/m³ x 10).
b — Émissions de plomb dues à la combustion d'essence (milliers de tonnes).
c — Émissions de plomb de toutes les sources (milliers de tonnes).
d — Concentrations moyennes de plomb dans le sang d'enfants de deux centres urbains du sud de l'Ontario (Toronto et Windsor) en 1984 (µg/dL).
e — Concentrations moyennes de plomb dans le sang d'enfants d'un centre urbain du nord de l'Ontario en 1987 (µg/dL).
f — Concentrations moyennes de plomb dans le sang d'enfants d'un centre urbain du sud de l'Ontario en 1988 (même secteur torontois qu'en 1984) (µg/dL).
g — Plage inférieure actuelle des concentrations de plomb dans le sang à laquelle des effets nocifs ont été observés chez certains groupes de population (µg/dL).

Néanmoins, étant donné que presque tous les Canadiens sont exposés au plomb présent dans l'essence et que l'on connaît bien les dangers de l'exposition au plomb, la teneur en plomb de « l'essence sans plomb* » a été réglementée en 1974. La teneur en plomb de « l'essence au plomb » a été réglementée en 1976, et des normes plus strictes ont été imposées en 1987. Après 1990, les émissions de plomb dues à l'utilisation de l'essence seront totalement éliminées, car à compter du 1er décembre 1990, l'ajout de plomb à l'essence sera interdit. Une utilisation très restreinte de l'essence au plomb sera permise dans les secteurs de l'agriculture, de la pêche commerciale et du camionnage, où la durabilité des moteurs revêt beaucoup d'importance; toutefois, la teneur en plomb de l'essence ne devra pas excéder 26 mg/L, ce qui représente moins du dixième de la teneur maximale prévue par les règlements actuels.

* Dans les règlements canadiens, on emploie le terme « essence sans plomb ». On parle aussi couramment du « sans plomb ». Les règlements s'appliquent à l'essence à laquelle on n'ajoute aucun plomb pendant sa production. On n'a pas fixé la teneur en plomb à zéro en raison des possibilités de contamination due à l'équipement employé pendant la distribution et la commercialisation de l'essence avec plomb.

**Tableau 5**
**Directives et normes provinciales de qualité de l'air pour le plomb (µg/m³)**

| Province/zone | Durée d'exposition | | |
|---|---|---|---|
| | 24 heures | Un an | Autres |
| Colombie-Britannique | 4, 4, 6[a] | 3, 4, 4[a] | |
| Ontario | | | 10[b] |
| | | | 3[c] |
| Manitoba | 5 | | |
| Québec | | 0–2 | |
| Terre-Neuve | 5 | | 2[d] |
| Communauté urbaine de Montréal | | | 10[e] |
| | | | 5[f] |

SOURCE : D'après des données fournies par le Groupe de travail sur les polluants atmosphériques dangereux du Comité consultatif fédéral-provincial sur la qualité de l'air.

a Valeur équivalente aux teneurs maximales souhaitables, aux teneurs maximales acceptables et aux teneurs maximales admissibles.
b Norme de 0,5 heure au point d'exposition.
c Moyenne arithmétique de 30 jours.
d Exposition de 30 jours.
e Exposition d'une heure.
f Exposition de huit heures.

La réglementation de la teneur en plomb de l'essence a permis de réduire les émissions atmosphériques de ce contaminant de plus de 86 % entre 1973, année au cours de laquelle les émissions de plomb provenant de l'essence ont atteint un sommet de près de 15 000 t, et 1987 (figure 22). De 1974 à 1986, la teneur moyenne en plomb de l'air ambiant a diminué de 78 %. Les concentrations maximales de plomb dans l'air ambiant au Canada (1–2 µg/m³ environ) ont été mesurées dans les provinces du centre et de l'ouest du pays où l'on utilise des véhicules automobiles d'un modèle plus âgé que dans l'est du Canada. Les directives et les normes provinciales relatives à la teneur de l'air en plomb sont fournies au tableau 5.

Au cours d'une étude réalisée en 1984 chez des enfants de deux centres urbains du sud de l'Ontario, soit Toronto et Windsor, on a constaté que la concentration moyenne du plomb dans le sang s'élevait à environ 12 µg/dL (ministère de la Santé de l'Ontario, 1985). Des concentrations moyennes plus faibles (8 µg/dL) ont été mesurées lors d'une étude menée en 1987 auprès d'enfants de centres urbains du nord de l'Ontario (ministère de la Santé de

l'Ontario, 1990). Une autre étude menée en 1988 dans le même secteur torontois qu'en 1984 a révélé que la concentration moyenne de plomb dans le sang des enfants s'élevait à environ 6 µg/dL (Smith, 1990). Un rapport significatif a été établi entre les concentrations de plomb dans l'air et de plomb dans le sang. L'intensité de la circulation sur les routes influe de façon déterminante sur les concentrations de plomb dans l'air et, par conséquent, on estime que les émissions de plomb provenant de l'essence constituent la source probable du plomb détecté dans le sang. On a observé des effets nuisibles chez les membres de certains groupes de la population dont le sang présentait une teneur en plomb de 10 µg/dL seulement; toutefois, d'après certaines études, il n'existe pas de seuil de tolérance pour le plomb.

## Étude d'une catégorie de substances chimiques

### Les composés organiques volatils

Le terme *composés organiques volatils* (COV) désigne les gaz et les vapeurs organiques présents dans l'air. On croit qu'ils contribuent à la formation d'ozone de la basse troposphère, et certains COV sont également des polluants atmosphériques toxiques. On calcule les émissions de COV en soustrayant les émissions de méthane, d'éthane et de chlorofluorocarbures — substances qui ne contribuent pas à la formation d'ozone de la basse troposphère et qui présentent un faible potentiel de toxicité — des émissions totales de gaz et de vapeurs organiques. On estime que, en 1985, les émissions de COV dans l'air au Canada se sont élevées à 1,8 million de tonnes. La distribution, la commercialisation et l'utilisation de l'essence étaient à l'origine d'environ 50 % de ces émissions.

La répartition de la majorité des émissions de COV correspond, dans une large mesure, à la répartition de la population. Les sources uniques nettement identifiables émettant plus de 100 t de COV par an (p. ex., les raffineries de pétrole, les usines pétrochimiques, les usines de matières plastiques) ne produisent qu'approximativement 15 % des émissions totales du pays. Le reste des émissions (environ 85 %) proviennent de sources plus répandues, associées à la densité de la population (p. ex., la commercialisation des carburants, l'utilisation de solvants d'usage général, l'application d'enduits de protection, le nettoyage à sec, les voitures et camions et le chauffage au bois) (Comité directeur fédéral/provincial du transport à distance des polluants atmosphériques, 1989). On devrait pouvoir déterminer avec plus d'exactitude quelles sont les sources précises de COV dans l'atmosphère par suite d'études conjuguant des renseignements sur les types et les concentrations relatives de COV et d'autres composés observés simultanément dans l'air ambiant, et des renseignements météorologiques comme la direction du vent.

Des milliers de COV peuvent contaminer l'air au même moment. Les concentrations de ces substances se situent généralement dans les portions inférieures de la plage des parties par milliard et en-deçà de cette plage. En 1988, on a mesuré les concentrations de COV dans l'air extérieur de 13 zones urbaines canadiennes et l'on a détecté quelque 100 composés différents. Une analyse récente des données disponibles sur les COV aux États-Unis révèle que, jusqu'à présent, on a mesuré les concentrations de 320 substances chimiques, dont 261 dans l'air extérieur et 66 dans l'air à l'intérieur des locaux (Shah et Singh, 1988).

Les COV qui ont été détectés dans l'air au cours de certaines recherches préliminaires réalisées par Environnement Canada (1987) à des stations d'échantillonnage situées sur l'avenue Perth dans le secteur torontois de Junction Triangle, et sur le boulevard St-Jean-Baptiste à Pointe-aux-Trembles (Montréal), ont été classés dans trois catégories : les COV pouvant favoriser la formation d'ozone, les COV pouvant influer directement sur la santé, et les COV ayant les deux effets précédents. On a observé de nombreux COV pouvant être toxiques et favoriser à la fois la formation d'ozone. Les stations d'échantillonnage de Toronto et de Montréal ont été sélectionnées parce que d'importantes sources de COV se trouvaient près de zones domiciliaires. En raison des limites de la méthode employée, on n'a pas pu mesurer les concentrations de tous les composés dont la présence était soupçonnée dans l'air, mais on a pu relever un nombre suffisant d'entre eux pour avoir une bonne idée des concentrations approximatives de ces substances et déterminer à quelle grande catégorie ils appartenaient.

On sait que certains des COV potentiellement toxiques détectés dans l'air sont carcinogènes pour les êtres humains. L'un d'eux, le benzène, est particulièrement inquiétant, car la combustion de carburant dans les véhicules automobiles en constitue la source principale : elle représente environ 70 % de toutes les émissions (Jaques, 1988*b*). Dans les villes canadiennes et américaines, les concentrations de benzène dans l'atmosphère sont approximativement du même ordre de grandeur (Dann, 1987) (tableau 6); toutefois, on ne dispose d'aucun renseignement sur les tendances des concentrations de benzène dans l'air des villes canadiennes.

Étant donné que les COV se déplacent facilement dans l'air, il importe de mieux connaître leur nature, leurs sources et leur capacité collective à être dommageables, afin d'orienter les mesures et les programmes qui seront mis en œuvre afin de protéger les Canadiens.

**Tableau 6**
**Comparaison des concentrations de benzène dans l'atmosphère au Canada et aux États-Unis**

| Endroit | Concentration moyenne (ppb) |
|---|---|
| **Canada** | |
| Sarnia | |
| – Parc Centennial | 6,0 |
| Toronto | |
| – Junction Triangle | 2,8 |
| – 26, rue Breadalbane | 0,9 |
| – Queen's Park | 3,4 |
| Montréal | |
| – Pointe-aux-Trembles | 5,7 |
| – Pointe-aux-Trembles | 3,6 |
| – Pointe-aux-Trembles | 3,0 |
| Vancouver | |
| – Parc Rocky Point | 3,2 |
| – Burnaby-Sud | 2,4 |
| – Mont Burnaby | 4,6 |
| Windsor | |
| – Avenue University | 1,8 |
| **États-Unis** | |
| El Monte, CA | 4,6 |
| Riverside, CA | 4,1 |
| Boston, MA | 1,1 |
| Chicago, IL | 1,3 |
| Houston, TX | 2,2 |
| Las Vegas, NV | 3,2 |
| Californie[a] | 3,3 |
| États-Unis[b] | 3,8 |

Source : Dann, 1987.

[a] Moyenne annuelle pondérée en fonction de la population de l'État, 1984.
[b] Moyenne annuelle estimative de cinq régions métropolitaines des États-Unis (données de 1978 à 1982).

## Les hydrocarbures aromatiques polycycliques

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), désignés parfois sous le nom de composés organiques polycycliques, englobent plusieurs centaines d'hydrocarbures organiques semi-volatils. Leurs propriétés et leurs effets sur la santé des animaux ont été résumés dans une publication récente (Withey, 1986). Les HAP sont omniprésents dans l'environnement; on les a détectés dans les tissus animaux et végétaux, les sédiments, les sols, l'atmosphère et les eaux de surface (Zedeck, 1980; Santodonato et collab., 1981).

La combustion de matières organiques est à l'origine des HAP; la production de ces composés est particulièrement élevée quand l'apport d'oxygène est insuffisant. Les incendies de forêt constituent probablement la plus importante source naturelle de ce type de pollution atmosphérique (Zedeck, 1980), et certains prétendent que le chauffage au bois dans les habitations est la principale source de pollution urbaine en Amérique du Nord (De Angelis et collab., 1980). On considère également que les émissions des véhicules automobiles constituent une source importante d'HAP dans les villes (Sawicki, 1962). La combustion de combustibles naturels ou fossiles (bois, charbon ou mazout) dans la production de chaleur et d'énergie et certaines activités industrielles comme l'exploitation de fours à coke et d'alumineries représentent d'importantes sources ponctuelles de ces composés (Environnement Canada, 1988). Les HAP qui se forment ou se dispersent à l'état de vapeur se condensent et sont adsorbés sur la surface de matières particulaires respirables, notamment la fumée de tabac.

Les HAP peuvent provoquer, chez les personnes exposées, le cancer de divers tissus, et c'est ce qui constitue le plus grave risque de ces composés pour la santé. Après avoir examiné les résultats d'expérimentations animales et d'études épidémiologiques chez les êtres humains, le Centre international de recherche sur le cancer (1973) a relevé quelque 27 composés distincts dont la carcinogénicité s'appuyait sur des preuves suffisantes ou limitées. De fait, en 1775, Percival Pott a été le premier à observer les incidences de l'exposition industrielle aux HAP : il a découvert que les jeunes ramoneurs exposés à la suie étaient sujets au cancer du scrotum. Des expérimentations animales ont permis de démontrer que les HAP avaient des effets non carcinogènes, dont un retard de croissance (Haddow et collab., 1937), la nécrose des tissus (Philips et collab., 1973) et d'importantes irritations pouvant se traduire par des troubles cutanées et oculaires (Hervin et Emmett, 1976).

On a relevé plus de 100 HAP dans les matières particulaires en suspension dans l'air (Lee et collab., 1977) et plus de 300 HAP ont été isolés sur les particules de la fumée de tabac (Akin et collab., 1976). Les résultats des analyses des HAP dans l'air, les eaux souterraines, l'eau potable traitée, les aliments et la fumée de tabac sont exprimés sous forme d'HAP totaux, d'HAP carcinogènes ou de benzo(a)pyrène, ou de série d'espèces distinctes classées dans cette catégorie (U.S. Environmental Protection Agency, 1980). On a employé des méthodes d'échantillonnage et d'analyse assez diverses et, compte tenu du nombre des sources répandues d'HAP ainsi que des variations saisonnières observées, il a été difficile de produire des inventaires exacts et complets ou de comparer les résultats d'études différentes. Une étude récente réalisée au Québec révèle que les émissions annuelles d'HAP s'élèvent à environ 2500 t, et que la majorité de ces émissions sont libérées dans l'atmosphère (Environnement Canada, 1988).

Au cours de plusieurs études faites dans l'ensemble du Canada (Atwell et collab., 1984; Dann, 1988), on a détecté un bon nombre d'HAP ayant des effets carcinogènes connus chez les êtres humains. Des concentrations de benzo(a)pyrène de l'ordre de 9,0 à 15 ng/m$^3$ ont été mesurées à proximité de sources ponctuelles comme des habitations chauffées au bois, des fours à coke et une aluminerie. Dans les villes, on a mesuré des concentrations de benzo(a)pyrène inférieures à 1,0 ng/m$^3$ dans l'atmosphère, ce qui représente une diminution marquée depuis les années 1950 et 1960. Dans un lieu éloigné (île Walpole, en

**Tableau 7**
**Concentrations moyennes de benzo(a)pyrène mesurées à des stations d'échantillonnage au Canada**

| Endroit | Concentrations moyennes de benzo(a)pyrène ($ng/m^3$) | Année | Source probable |
|---|---|---|---|
| Kitimat (C.-B.) | 14,1 | 1984 | Aluminerie |
| Whitehorse (Yuk.) | 8,9 | 1982–1983 | Habitations chauffées au bois |
| Sydney (N.-É.) | 1,3 | 1981–1982 | Fours à coke |
| Montréal (Qc) | 0,6 | 1984–1986 | Voitures |
| Windsor (Ont.) | 0,61 | 1987–1988 | Voitures |
| Toronto (Ont.) | 0,3 | 1984–1986 | Voitures |
| Île Walpole (Ont.) | 0,06 | 1988 | Transport à grande distance |

SOURCE : Dann, 1988; Environnement Canada, 1989.

Ontario), la concentration était de 0,06 $ng/m^3$, sans doute à cause du transport des contaminants atmosphériques sur de grandes distances (tableau 7).

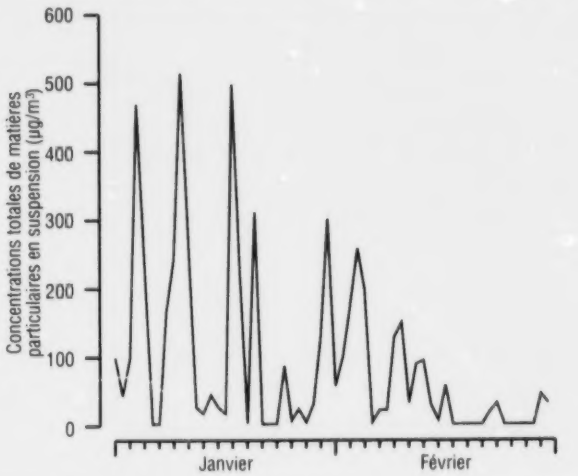
Aux États-Unis, l'Occupational Safety and Health Administration a élaboré des directives et des normes pour les émissions provenant des fours à coke et les composants volatils du brai de houille. Ces normes sont fondées sur une procédure d'échantillonnage et d'analyse de la fraction d'HAP soluble dans le benzène (U.S. Environmental Protection Agency, 1980). L'Organisation mondiale de la santé (1970) a aussi établi des normes de qualité de l'eau potable en se fondant sur les résultats d'une analyse combinée de six HAP. Les estimations récentes quant aux risques que présentent les HAP pour la santé sont basées sur la teneur en benzo(a)pyrène ou son équivalent dans les mélanges d'HAP (Organisation mondiale de la santé, 1987).

## Étude d'une activité : le chauffage au bois

D'après les estimations, les Canadiens ont brûlé sept millions de mètres cubes de bois pour chauffer leurs maisons en 1986. Le Canada se classe parmi les pays où l'on utilise le plus de bois par habitant. De nos jours, à cause des coûts élevés de l'énergie et pour des raisons d'esthétique, la majorité des nouvelles habitations construites dans les zones urbaines comptent au moins un foyer. En outre, le chauffage au bois a toujours été populaire dans les zones rurales.

Malheureusement, dans certaines régions du pays, le chauffage au bois entraîne de graves problèmes de pollution atmosphérique (Roche Envirobec, 1983; Bethell Management Ltd., 1986), particulièrement les jours où les conditions météorologiques ne permettent pas à la fumée de se disperser. La fumée produite par le chauffage au bois contient des

**Figure 23**
**Concentrations totales de matières particulaires en suspension à Whitehorse (Riverdale) en janvier et février 1988**




SOURCE : Pulleyblank et Wile, 1988.

concentrations élevées de matières particulaires, de monoxyde de carbone, d'oxydes d'azote, de créosote et d'HAP. La combustion incomplète du bois produit une fumée très dense, et de mauvaises pratiques comme l'usage de bois « vert » ainsi que l'utilisation de foyers, de poêles et de chaudières inefficaces augmentent la quantité de fumée produite.

Au cours des dernières années, la qualité de l'air s'est détériorée dans le secteur domiciliaire de Riverdale, à Whitehorse, au Yukon, par suite d'une production excessive de fumée provenant du chauffage au bois. La figure 23 présente les concentrations moyennes quotidiennes de matières particulaires en suspension à Riverdale pour les mois de janvier et de février 1988 (Pulleyblank et Wile, 1988). Étant donné que, pendant 17 jours, les concentrations ont excédé la teneur maximale acceptable de 120 $\mu g/m^3$ pendant 24 heures (objectif national de qualité de l'air) et que, pendant trois jours, les concentrations ont excédé la teneur maximale admissible de 400 $\mu g/m^3$ pendant 24 heures (objectif national), ce sont les effets à court terme sur les poumons des substances irritantes des particules qui sont le plus préoccupantes. Toutefois, les objectifs ne permettent pas d'évaluer les effets toxiques potentiels à long terme des substances adsorbées sur les particules de fumée de bois.

## Le problème de la qualité de l'air à Riverdale

Une étude poussée de la détérioration de la qualité de l'air due à la production excessive de fumée provenant du chauffage au bois a été réalisée dans la zone domiciliaire Riverdale de Whitehorse, au Yukon. La ville de Whitehorse est située dans le centre-sud du Yukon à une altitude de 670 m, à 150 km du golfe de l'Alaska. Le climat de Whitehorse est de type continental subarctique; toutefois, en raison de la proximité de l'océan, Whitehorse se trouve là où se rejoignent fréquemment les masses d'air continentales arctiques et continentales maritimes. Pendant les périodes où la région se trouve sous l'influence d'une masse d'air froid, il se produit fréquemment des inversions de température au sol, ce qui se traduit par une stagnation de l'air (Pulleyblank et Wile, 1988).

Riverdale, qui se trouve juste au sud de Whitehorse, compte environ 1350 habitations, dont 700 sont chauffées principalement au bois pendant les mois d'hiver. Riverdale est entourée sur trois côtés de pentes abruptes boisées, le fleuve Yukon constituant le quatrième côté. Les résidants bénéficient d'une abondante réserve de bois tué par le feu, car il y a eu un incendie de forêt au nord de la ville en 1979. En raison de la topographie, des masses d'air stables en hiver et de la popularité du chauffage au bois, des épisodes de pollution se traduisant par une fumée dense semblable à une brume sont devenus de plus en plus fréquents au cours des années 1980 (Pulleyblank et Wile, 1988).

On étudie la pollution atmosphérique à Riverdale depuis 1981. D'après les caractérisations, les polluants sont généralement des matières particulaires fines auxquelles sont liés des HAP. Les programmes de surveillance ont permis de déterminer que les concentrations de matières particulaires sont le plus élevées de décembre à février, mais qu'elles varient considérablement d'un jour à l'autre. Les concentrations de matières particulaires dépassent souvent les objectifs nationaux de qualité de l'air pendant la saison froide.

Les premières tentatives de prévision du moment des épisodes de forte pollution ont échoué parce que les données météorologiques dont on disposait étaient incomplètes. On a tenté de régler le problème en demandant aux gens de s'abstenir volontairement de chauffer au bois pendant certaines périodes, mais ces efforts n'ont pas eu les résultats souhaités. Toutefois, depuis 1986, les gouvernements fédéral, territorial et municipal ont pris les mesures suivantes afin d'améliorer la situation à Riverdale :

- Au cours d'une série d'ateliers, on a montré au public comment se servir correctement des poêles à bois.
- On est en train d'élaborer des instructions pour l'installation adéquate des poêles à bois.
- On procède à des essais à domicile pour évaluer l'efficacité des nouveaux poêles à bois.
- Depuis la fin de 1987, on surveille de façon continue les concentrations de matières particulaires pendant les périodes où il est permis de chauffer au bois, et les conditions météorologiques.
- En vertu d'un règlement municipal adopté le 8 décembre 1986, la ville peut interdire le chauffage au bois pendant certaines périodes et réglementer le brûlage à l'air libre et l'opacité de la fumée provenant des poêles à bois.
- On a mis au point de meilleures techniques de prévision de la qualité de l'air.
- Une ligne directe fournit, 24 heures sur 24, les teneurs de l'air en matières particulaires existantes et prévues, et les médias ainsi que la ligne directe informent les résidants des périodes où il est interdit de chauffer au bois. Des procédures à respecter ont été prévues pendant ces périodes.

Pendant l'hiver 1987–1988, les résidants de Riverdale ont collaboré avec l'inspecteur chargé de faire respecter le règlement municipal visant l'amélioration des pratiques de chauffage au bois, de sorte qu'ils ont pu chauffer au bois sans interruption durant toute la saison. On estime qu'il est essentiel de sensibiliser et de renseigner davantage le public afin de régler le problème.

Le chauffage au bois est aussi populaire dans d'autres régions du pays. Dans la région de l'Atlantique, la surveillance de la qualité de l'air amorcée par suite de plaintes provenant du public révèle que les concentrations de particules totales en suspension étaient invariablement inférieures à celles relevées à Riverdale (Kozak, 1985) (tableau 8). Cependant, certains jours, on croit que jusqu'à 80 $\mu g/m^3$ de la charge totale de particules en suspension étaient attribuables à la combustion de bois dans les habitations.

**Tableau 8**
**Concentrations de particules totales en suspension (PTS)[a] mesurées dans la région de l'Atlantique pendant la saison de chauffage au bois**

| Période | Endroit | Concentrations moyennes[b] de PTS (µg/m³) | Concentrations maximales de PTS (µg/m³) |
|---|---|---|---|
| Février–avril 1984 | Truro (N.-É.) | ~13–20 | ~40 |
| Février–avril 1984 | Lower Sackville (N.-É.) | ~15–20 | ~40 |
| Décembre 1984–mars 1985 | Lower Sackville (N.-É.) | ~10–40 | ~123 |
| 8 janvier–21 février 1985 | Fredericton (N.-B.) | ~31–34 | ~55 |

SOURCE : Kozak, 1985.

[a] On estime qu'environ 50 % à 75 % des matières particulaires sont fines et que, par conséquent, elles proviennent des habitations chauffées au bois.

[b] On donne une gamme de concentrations moyennes de particules totales en suspension, car on a employé plus d'un appareil de mesure à chaque endroit.

## Étude d'un secteur géographique donné

### Junction Triangle

Junction Triangle est une zone industrielle et domiciliaire située dans le nord-ouest de Toronto. Cette zone de 0,68 km² compte environ 6000 habitants et 24 entreprises industrielles, dont bon nombre sont exploitées depuis plus de 25 ans. Au cours des deux dernières décennies, les résidants se sont plaints aux autorités de la ville des effets possibles des odeurs délétères sur la santé, odeurs qui, d'après eux, proviennent de ces entreprises industrielles. Ils s'interrogent quant à la compatibilité des utilisations des terres à des fins domiciliaires et industrielles, et la santé de leurs enfants constitue leur principale inquiétude. Des études épidémiologiques préliminaires réalisées de 1982 à 1984 ont permis de relever suffisamment d'indices à l'effet que les enfants de Junction Triangle présentaient des symptômes d'affections assez fréquemment pour justifier la mise en œuvre d'une étude plus approfondie. Chez les adultes, le problème était perçu comme étant grave (Spitzer, 1984).

D'avril à mai 1985, des tests de dépistage des types de symptômes d'affections associées à la pollution industrielle — éruptions cutanées, allergies, irritation des yeux et de la gorge — ont été effectués auprès de 1226 enfants vivant à Junction Triangle ou fréquentant une école dans cette zone. Ces tests de dépistage ont justifié une évaluation plus détaillée de l'état de santé de 421 enfants. Un groupe témoin d'enfants vivant dans un autre secteur a aussi fait l'objet de tests de dépistage et d'une évaluation. L'état de santé des enfants des deux groupes ne différait pas de façon marquée, mais on a reconnu qu'il pouvait y avoir des différences non observables (Ville de Toronto, 1985). En 1986, le service d'hygiène publique de la ville de Toronto et la Fondation ontarienne pour la recherche en cancérologie et le traitement du cancer ont étudié la fréquence des cancers dans Junction Triangle et ont conclu qu'il n'y avait aucun signe permettant d'affirmer que les cas de cancer étaient plus fréquents dans cette zone.

### Le sud-ouest de l'Ontario

À la fin de 1986, la Greater Detroit Resource Recovery Authority a annoncé qu'un incinérateur municipal d'une capacité de 4000 t de déchets par jour serait construit dans le centre-ville de Détroit, à 6 km de la frontière canado-américaine. On craignait que cette installation ne serait pas dotée des dispositifs antipollution les plus efficaces disponibles à ce moment-là. En raison des effets possibles des émissions de cet incinérateur sur la qualité de l'air à Windsor, un programme de surveillance des substances toxiques associées à l'incinération a été mis en œuvre. Environnement Canada, en collaboration avec le ministère de l'Environnement de l'Ontario et la Bande indienne de l'île Walpole, a aménagé deux stations de surveillance dans le sud-ouest de l'Ontario, l'une située au centre-ville de Windsor (mise en service en juillet 1987) et l'autre, sur l'île Walpole, dans le lac Ste-Claire (mise en service en janvier 1988). La surveillance visait à recueillir des données de base avant la mise en exploitation de l'incinérateur.

Parmi les matières polluantes mesurées dans l'air ambiant, on trouve des dioxines, des furanes, des BPC, des chlorobenzènes, des chlorophénols, des HAP, des COV, des matières particulaires respirables et plusieurs métaux.

On a évalué les données recueillies de juillet 1987 à septembre 1988 à la station de surveillance de Windsor, et celles recueillies de janvier 1988 à septembre 1988 à la station de l'île Walpole. Des dioxines et des furanes ont été détectés à la station de Windsor, mais leurs concentrations étaient bien en-deçà de la directive provisoire de 30 pg/m³ établie par l'Ontario pour l'air ambiant. À la station de l'île Walpole, des concentrations détectables de dioxines ont été relevées, mais elles étaient environ trois fois moins élevées qu'à Windsor. Les concentrations d'HAP mesurées à la station de Windsor étaient comparables à celles relevées dans d'autres centres urbains de l'Amérique du Nord. Pour ce qui est des BPC, les concentrations mesurées à Windsor étaient très faibles et nettement en-deçà de la directive de 35 ng/m³ pour un an établie par l'Ontario pour l'air ambiant. À la station de l'île Walpole, tous les échantillons sauf deux présentaient des concentrations de BPC inférieures à la limite de

détection. Les concentrations de sulfates et celles de matières particulaires respirables étaient élevées dans les deux stations certains jours d'échantillonnage, en été, mais elles n'excédaient pas les normes provinciales de qualité de l'air ambiant (Environnement Canada, 1989).

## Références


Akin, F.J., M.E. Snook, R.E. Severson, W.J. Chamberlain et D.B. Walters. 1976. Identification of polynuclear aromatic hydrocarbons in cigarette smoke and their importance as tumorigens. Journal of the National Cancer Institute, 57:191–195.

Atwell, L., P. Hennigar, J. Kozak et M. Morin, 1984. Ambient air polynuclear aromatic hydrocarbons study. Sydney, Nouvelle-Écosse. Environnement Canada, Halifax.

Bethell Management Ltd. 1986. An investigation of residential wood combustion emissions and control programs in Canada and the USA. Préparé pour le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique, Victoria.

Carhart, B.S., et M.P. Walsh. 1988. Potential contributions to ambient air concentrations of air toxics by mobile sources. Présenté à l'occasion de la 80e réunion annuelle de l'Air Pollution Control Association, 21–26 juin, New York, NY.

Centre international de recherche sur le cancer. 1973. Monograph on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to man: Certain polycyclic aromatic hydrocarbons. Vol. 3, Lyon (France).

Comité directeur fédéral-provincial du transport à distance des polluants atmosphériques. 1989. Élaboration d'un plan national de gestion des oxydes d'azote ($NO_x$) et composés organiques volatils (COV). Premier rapport présenté au Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME), avril, Ottawa.

Dann, T. 1987. Benzene in ambient air in Canadian urban areas. Rapport TS–8, Conservation et Protection, Environnement Canada.

Dann, T. 1988. Measurement of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in ambient air (Toronto, Ontario and Montreal, Quebec). Communication présentée à l'occasion de la 3e Conférence sur les substances toxiques. Environnement Canada, Ottawa.

De Angelis, D.G., D.S. Ruffin, J.A. Peters et R.B. Reznick. 1980. Source assessment: Residential combustion of wood, EPA–600/2–80–0426, U.S. Environmental Protection Agency.

Environnement Canada. 1983. Inventaire national des sources et des émissions de plomb (1978). Rapport SPE 3–EP–83–6.

Environnement Canada. 1985. Inventaire national des sources et des rejets de plomb (1982). Rapport SPE 5/HA/3.

Environnement Canada. 1987. Ambient air concentrations of volatile organic compounds in Toronto and Montreal. Rapport TS–6, Ottawa.

Environnement Canada. 1988. Inventaire des sources d'hydrocarbures aromatiques polycycliques au Québec. Dossier 55526. Octobre. Conservation et Protection. Rapport rédigé à contrat (Lavalin) (version abrégée).

Environnement Canada. 1989. Detroit Incinerator Monitoring Program. Data Report No. 3. PMD 89–8.

Haddow, A., C.M. Scott et J.D. Scott. 1937. The influence of certain carcinogenic and other hydrocarbons on body growth in the rat. Proceedings of the Royal Society of London, Series B, 122:477–507.

Haemisegger, E., A. Jones, B. Steigerwald et V. Thomson. 1985. The air toxics problem in the United States: An analysis of cancer risks for selected pollutants. Report EPA–450/1–85–001, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

Hervin, R.L., et E.A. Emmett. 1976. Health hazard evaluation/toxicity determination. Report TR–HHE–73–194–324, National Institute of Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH.

Jaques, A.P. 1988*a*. Communication personnelle, juillet, Environnement Canada.

Jaques, A.P. 1988*b*. Inventaire national des sources et des émissions de benzène (1985). Rapport inédit, Conservation et Protection, Environnement Canada.

Kozak, J. 1985. Preliminary report: Residential wood combustion impact studies in Atlantic Canada. Présenté à l'occasion du National Workshop on Emissions from Residential Woodburning, Hull. Environnement Canada, Halifax.

Lee, J.L., G.P. Prado, J.B. Howard et R.A. Hites. 1977. Source identification of urban airborne polycyclic aromatic hydrocarbons by gas chromatographic mass spectrometry and high resolution mass spectrometry. Biomedical Mass Spectrometry, 4:182–186.

Ministère de la Santé de l'Ontario. 1985. Blood lead and associated risk factors in Ontario children (1984). Décembre, Toronto.

Ministère de la Santé de l'Ontario. 1990. Blood lead and associated risk factors in a sample of northern Ontario children (1987). Juillet, Toronto.

Organisation mondiale de la santé. 1970. Normes européennes applicables à l'eau de boisson. 2e éd. Genève (Suisse).

Organisation mondiale de la santé. 1987. Air quality guidelines for Europe. Publication régionale de l'OMS, Série européenne, n° 23.

Philips, F.S., S.S. Sternberg et H. Marquardt. 1973. *In vivo* cytotoxicity of polycyclic hydrocarbons. Pages 75–88 dans « Pharmacology and the future of man ». Proceedings of the 5th International Congress on Pharmacology, San Francisco, CA.

Pulleyblank, G., et K. Wile. 1988. City of Whitehorse woodsmoke control program. Rapport d'avancement des travaux, mars 1988. Environnement Canada, Whitehorse.

Roche Envirobec. 1983. Quantification et prévision des émissions provenant du chauffage résidentiel au bois du Québec. Préparé pour Environnement Canada.

Santodonato, J., P. Howard et D. Basu. 1981. Health and ecological assessment of polynuclear aromatic hydrocarbons. Journal of Environmental Pathology and Toxicology, 5:1–376.

Sawicki, E. 1962. Airborne carcinogens and allied compounds. Archives of Environmental Health, 14:46–53.

Shah, J.J., et H.B. Singh. 1988. Distribution of volatile organic chemicals in outdoor and indoor air. Environmental Science and Technology, 22:1381–1388.

Smith, K.R. 1988. Air pollution. Assessing total exposure in the United States. Environment, 30:10–15, 33–38.

Smith, L. 1990. Communication personnelle. Ministère de la Santé de l'Ontario, mai, Toronto.

Spitzer, W.O. 1984. A study of the health status of residents of the Junction Triangle, Toronto. Rapport définitif présenté au médecin-hygiéniste, ville de Toronto.

U.S. Environmental Protection Agency. 1980. Ambient water quality criteria for polynuclear aromatic hydrocarbons. EPA–440/5–80–069, Office of Water and Hazardous Materials, Regulations and Standards Division, Washington, DC.

Ville de Toronto. 1985. Junction Triangle health assessment program. Département de la santé publique, Toronto.

Withey, J.R. 1986. Toxic effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Pages 157–170 dans « Procès-verbaux de la 2e Conférence sur les substances toxiques », Environnement Canada, Québec.

Zedeck, M.S. 1980. Polycyclic aromatic hydrocarbons: A review. Journal of Environmental Pathology and Toxicology, 3:537–567.

*Chapitre V*

# Les grands problèmes régionaux et mondiaux de pollution atmosphérique

## Introduction

À l'heure actuelle, le Canada doit faire face à plusieurs problèmes liés à la pollution de l'air. Certains d'entre eux ont déjà été abordés aux chapitres III et IV, dont la dégradation de la qualité de l'air dans les grandes villes et les zones populeuses à cause de l'accumulation de gaz, de matières particulaires et de vapeurs, et la contamination des aliments, de l'eau, du sol et de l'air par les substances chimiques organiques et inorganiques libérées dans l'atmosphère par les véhicules automobiles, les industries lourdes, les usines, les activités agricoles et l'incinération des déchets.

Le présent chapitre met l'accent sur deux problèmes régionaux d'importance — les pluies acides et la pollution atmosphérique dans l'Arctique — et trois problèmes mondiaux — l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, le changement climatique et la radioactivité atmosphérique.

## Les problèmes régionaux

### Les pluies acides

Tous les organismes de la Terre dépendent totalement des interactions et des transformations continues des substances chimiques qui composent la planète. Par l'entremise de réactions chimiques, les organismes tirent des aliments qu'ils consomment les substances nutritives nécessaires à leur survie, et il y a emmagasinement et libération d'énergie. Les concentrations et les propriétés physiques et chimiques des substances présentes dans l'environnement jouent un rôle fondamental dans le maintien de la qualité des écosystèmes. Toutefois, il y a des limites aux substances chimiques pouvant être tolérées sans que cela entraîne des dommages biologiques. Chose peu étonnante, ce seuil de tolérance peut être dépassé à cause de la pollution, et les pluies acides constituent un exemple frappant de ce qui se produit alors.

Les pluies acides englobent toutes les formes de précipitations (p. ex., la pluie, la neige, la grêle) qui ont été acidifiées par des polluants atmosphériques. Les trois principales sources de polluants à l'origine de cette acidification sont les émissions industrielles, les centrales électriques et les véhicules automobiles. L'anhydride sulfureux, qui se forme principalement lors de la combustion du charbon sulfuré et du traitement des minerais sulfurés, reste pendant plusieurs jours dans l'atmosphère où il réagit avec l'eau pour former de l'acide sulfurique. De même, les oxydes d'azote provenant principalement de la combustion de combustibles forment de l'acide nitrique dans l'air. D'après les observations, quand les précipitations lessivent ces acides et les déposent à la surface de la Terre (dépôts humides), le sol, l'eau, les plantes, les matériaux, bref, pratiquement tout ce qui vient en contact avec les acides peut subir une certaine détérioration. Même en l'absence de précipitation, il peut se produire un contact direct avec des aérosols acides (dépôt sec). D'après certains indices, les fines gouttelettes d'eau dispersées dans la brume contiennent aussi des acides.

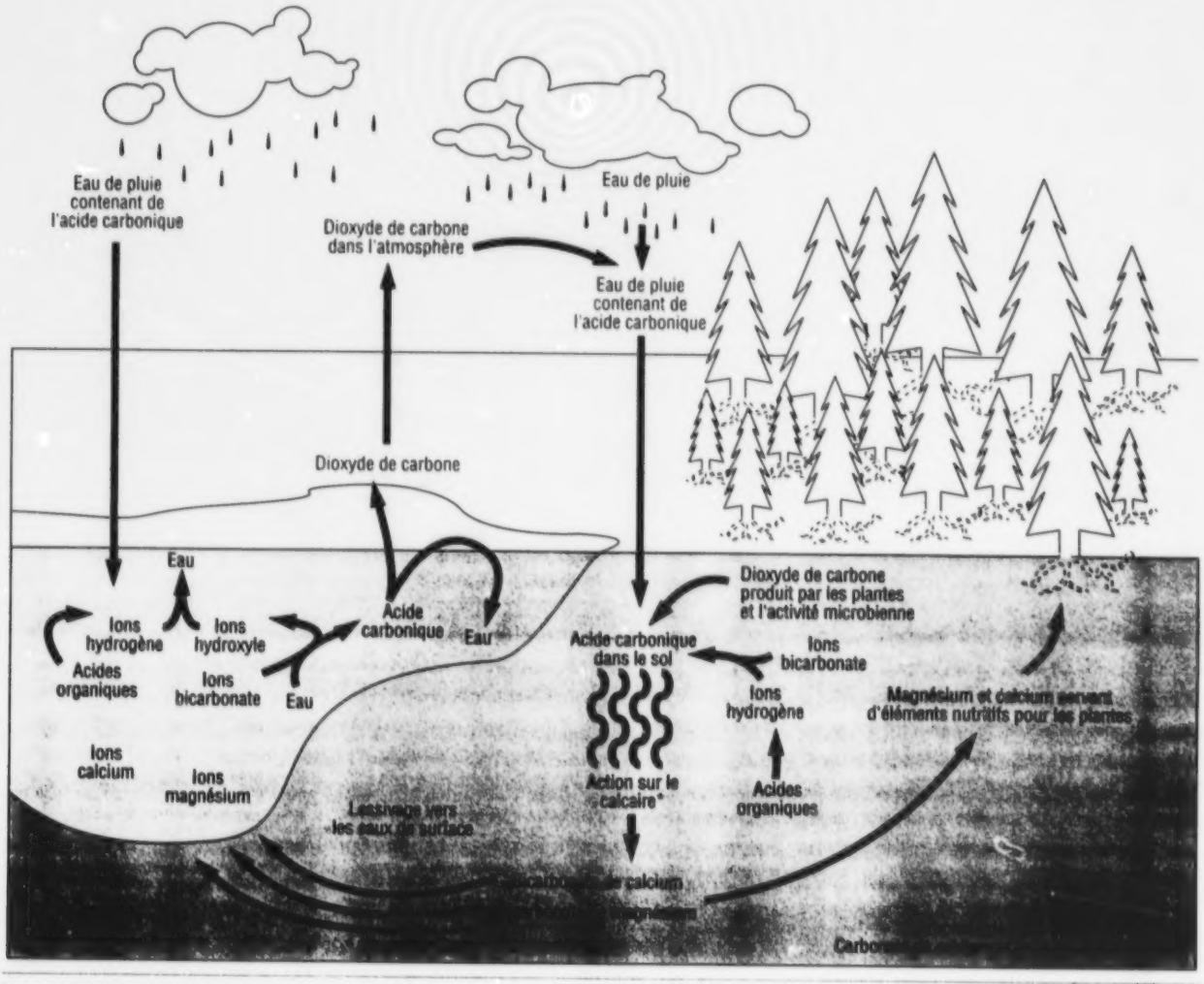
C'est au cours des années 1960 que les pluies acides sont devenues un problème d'importance internationale. L'un des moyens pris pour régler les problèmes locaux de pollution atmosphérique a été de construire des cheminées plus hautes. On croyait alors que, si les polluants atmosphériques étaient rejetés à de plus hautes altitudes, ils se disperseraient dans l'air et n'atteindraient plus des concentrations nocives au sol. On a vite constaté les inconvénients de cette technique. Comme prévu, les hautes cheminées ont permis d'améliorer la qualité de l'air local, mais elles dégageaient davantage de matières polluantes dans l'air que ne le faisaient les anciennes cheminées. D'après certains indices, les panaches de fumée des hautes cheminées se déplacent parfois sur des centaines de kilomètres. Même quand le panache s'est dispersé et qu'il n'est plus visible, les polluants proprement dits sont transportés encore plus loin, parfois à des milliers de kilomètres de leur source. Quand, enfin, ils retombent au sol sous forme de dépôt humide ou de dépôt sec, ils peuvent avoir traversé des frontières internationales et s'être transformés chimiquement en substances encore plus nocives. Les acides produits par les polluants se distinguent par le fait qu'ils sont des acides minéraux forts.

Quand l'atmosphère n'est pas polluée, la majorité des acides présents dans les précipitations, le sol et l'eau sont des acides faibles. L'acide faible le plus courant est l'acide carbonique produit par la dissolution dans l'eau de pluie du dioxyde de carbone présent naturellement dans l'atmosphère. De l'acide carbonique se forme également dans le sol et les eaux de surface. Les acides organiques, qui sont un autre type d'acides faibles, se forment dans le sol et l'eau par suite de la décomposition de matières organiques comme les feuilles. Par conséquent, la majorité des sols et des eaux de

## Les principaux problèmes de pollution atmosphérique au Canada

- La dégradation de la qualité de l'air dans les centres urbains
  - — Des formes très visibles de pollution atmosphérique sont souvent observées dans les grandes villes et les zones populeuses.
  - — Des gaz, des matières particulaires et des vapeurs sont libérés dans l'atmosphère et s'y accumulent pendant plusieurs jours.
  - — Certains polluants sont fortement réactifs pendant les périodes d'ensoleillement et produisent des polluants atmosphériques « secondaires » (p. ex., l'ozone) qui risquent d'être plus nocifs pour la santé et l'environnement que les substances dont ils sont dérivés.
- Les polluants atmosphériques toxiques
  - — Des substances chimiques potentiellement dangereuses sont libérées dans l'atmosphère par les véhicules automobiles, les industries lourdes, les usines, les petites entreprises, les activités agricoles, l'incinération des déchets et l'utilisation de produits chimiques à domicile.
  - — La contamination des aliments, de l'eau, du sol et de l'air peut avoir des effets nocifs sur la santé et menacer l'environnement.
- Les pluies acides
  - — Les pluies acides sont causées par l'anhydride sulfureux émis par les fonderies au Canada et les centrales électriques alimentées au charbon tant au Canada qu'aux États-Unis ainsi que par les oxydes d'azote qui se forment lors de la combustion de mazout.
  - — Ces gaz forment des acides forts dans l'atmosphère et peuvent être transportés sur de grandes distances.
  - — Les acides provoquent l'acidification des lacs, des cours d'eau et des sols, ce qui est préjudiciable aux organismes aquatiques, aux forêts et aux végétaux.
  - — On croit que les pluies acides ont des effets nocifs sur la santé.
- Les polluants atmosphériques dans l'Arctique
  - — Les couches de brume observées chaque année de décembre à avril dans l'air de l'Arctique contiennent des polluants provenant d'autres zones de l'hémisphère Nord.
  - — Quand les polluants se déposent sur la neige et la glace, les sources alimentaires des habitants de l'Arctique risquent d'être contaminées et des écosystèmes peuvent subir un stress supplémentaire.
- L'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique
  - — L'ozone stratosphérique absorbe la majeure partie des rayons ultraviolets les plus dommageables du Soleil avant que ceux-ci n'atteignent la surface de la Terre.
  - — Les substances chimiques synthétiques (p. ex., les chlorofluorocarbures et les halons) réagissent avec l'ozone stratosphérique et entraînent son appauvrissement, de sorte que la Terre est sujette à un rayonnement ultraviolet plus intense.
- Le changement climatique et le réchauffement du globe
  - — Le rayonnement solaire réchauffe la Terre, puis il y a perte de chaleur à cause de la diminution du rayonnement thermique.
  - — Les gaz atmosphériques entravent la diminution du rayonnement thermique, créant ainsi un état d'équilibre qui confère à la Terre son climat actuel.
  - — Les quantités de dioxyde de carbone et d'autres gaz pouvant entraver la diminution du rayonnement thermique augmentent constamment et, si cette tendance se poursuit, on prévoit qu'il y aura un réchauffement excessif du globe qui se traduira par un changement climatique (effet de serre).
- La radioactivité atmosphérique
  - — Le rayonnement de diverses sources, dont des sources naturelles, peut avoir des effets sur la santé en provoquant des changements au niveau cellulaire chez les organismes.
  - — L'exposition à un faible rayonnement de fond est un phénomène naturel.
  - — Le public s'inquiète des risques d'accidents nucléaires (réacteurs) pouvant entraîner une exposition à un rayonnement intense pendant de courtes périodes.
  - — Un radionucléide naturel, le radon, suscite des préoccupations parce qu'il pollue l'air à l'intérieur des locaux. (Remarque : Le présent rapport ne vise pas l'étude de la pollution de l'air intérieur, mais cette forme de pollution est un important facteur dont on doit tenir compte lorsqu'on évalue l'exposition totale des êtres humains aux polluants atmosphériques.)

**Figure 24**
**Modèle théorique de l'effet tampon du bicarbonate dans le sol et les eaux de surface**

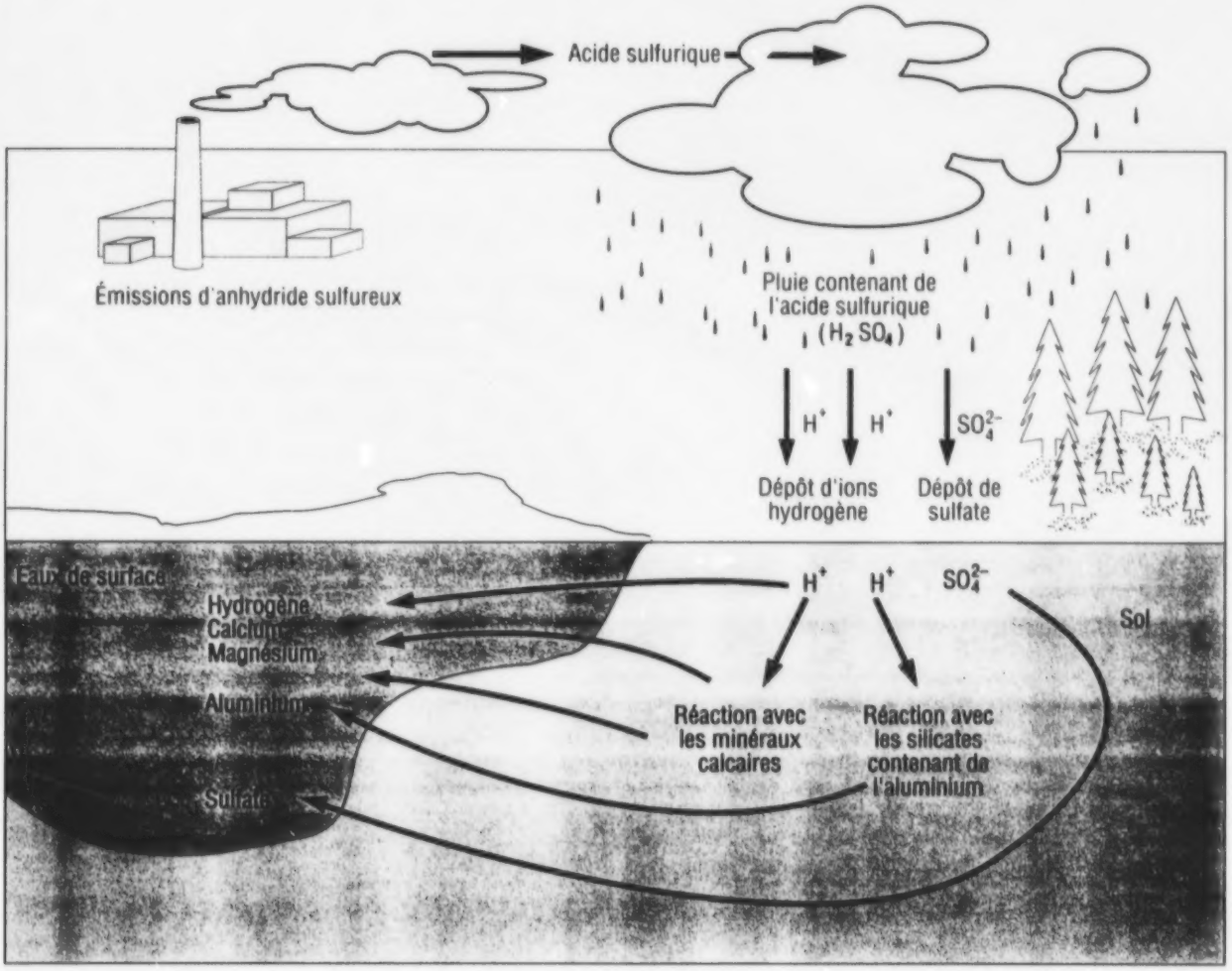



SOURCE : D'après des renseignements tirés de Wetzel, 1975.

surface contiennent à la fois de l'acide carbonique et des acides organiques. Étant donné que ces acides faibles se forment sans cesse d'année en année, pourquoi l'acidité n'atteint-elle pas des concentrations dangereusement élevées, même en l'absence de pollution atmosphérique? C'est à cause des réactions qui ont lieu entre les acides faibles et d'autres substances dans l'environnement.

La figure 24 donne un modèle théorique du pouvoir tampon du « bicarbonate » dans le sol et l'eau, qui déclenche une série naturelle de réactions chimiques faisant obstacle à l'acidification. Comme on peut le constater sur cette figure, l'acide carbonique, qu'il se soit formé dans le sol ou dans l'eau ou qu'il ait été déposé par voie humide (précipitations), n'acidifie pas les eaux de surface pour deux raisons. Premièrement, dans le sol, l'acide carbonique réagit avec le calcaire et d'autres minéraux; cette réaction donne lieu à la formation d'ions bicarbonate et neutralise efficacement l'acidité. Ce processus naturel d'altération du sol (c.-à-d. la décomposition physique et chimique des minéraux du sol) constitue une source essentielle d'éléments nutritifs pour les plantes. Deuxièmement, l'acide carbonique peut se décomposer, ce qui libère de nouveau du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Il importe de souligner que la majorité des ions calcium et magnésium provenant de l'altération du sol

**Figure 25**
**Modèle théorique du dépôt d'acides minéraux et du transport des ions calcium, magnésium, aluminium, sulfate et hydrogène depuis le sol jusque dans les eaux de surface**




finissent par pénétrer dans les eaux de surface. Les scientifiques mesurent les concentrations de ces ions pour déterminer la qualité des eaux de surface. Une partie des ions calcium et magnésium et d'autres ions servent d'éléments nutritifs pour les plantes. Le calcaire a également un effet tampon sur les acides organiques présents dans le sol (figure 24). Tant que l'altération et l'apport d'acide s'effectuent au même rythme, l'acidité du sol et de l'eau demeure relativement constante, à l'intérieur de limites biologiquement acceptables.

La situation est tout à fait différente, toutefois, lorsque des acides minéraux forts se déposent sur le sol en plus des acides organiques faibles d'origine naturelle (figure 25). La présence d'acides minéraux provoque une nouvelle série de réactions chimiques dans les écosystèmes, réactions qui perturbent le processus d'altération et se traduisent par une dissolution de métaux comme l'aluminium. Si le sol ne renferme pas suffisamment de calcaire ou d'autres matières réactives pouvant neutraliser les importants dépôts d'ions hydrogène (à l'origine de l'acidité) provenant des acides forts, la concentration des ions hydrogène augmente dans le sol. Ce phénomène peut être nuisible en soi, car certains ions hydrogène du sol seront lessivés, pénétreront dans les eaux de surface et les acidifieront. Si l'acide fort est de

l'acide sulfurique, il se produira également une augmentation marquée des ions sulfate dans le sol. Les ions sulfate n'ont pas tendance à se lier aux particules des sols peu évolués sur le plan géologique et qui sont caractéristiques du Canada, et seul un faible pourcentage d'entre eux servent d'éléments nutritifs pour les plantes, de sorte qu'ils demeurent dissous dans l'eau du sol. Lorsqu'il y a percolation de l'eau dans les couches du sol, tant les ions hydrogène que les ions sulfate pénètrent dans les eaux de surface ou les eaux souterraines. Le déplacement des ions sulfate provoque le lessivage du calcium, du magnésium et d'autres métaux traces du sol, ce qui constitue une perte d'éléments nutritifs pour les plantes. Quand l'acidité du sol est plus élevée, l'aluminium, qui est une composante courante du sol, est également entraîné dans les eaux de surface et les eaux souterraines. L'aluminium est très toxique pour les poissons, car il entrave le fonctionnement de leurs branchies.

Toutefois, quand l'acide fort est de l'acide nitrique, les préoccupations ne sont pas aussi vives. On sait que les ions nitrate servent d'éléments nutritifs pour les plantes; en effet, on a observé que, en dépit des dépôts de nitrate, les concentrations de nitrate sont très faibles dans les eaux de surface acidifiées au Canada. L'effet acidogène du nitrate est minime. À long terme, c'est la fraction de sulfate des pluies acides qui provoque l'acidification des eaux de surface (Brydges, 1986).

Les scientifiques étudient le phénomène des dépôts acides dans des masses d'eau données et leur bassin versant et dans les précipitations qui les alimentent. Ils prélèvent des échantillons des précipitations et des cours d'eau et les analysent en détail afin de mesurer les concentrations des ions calcium, magnésium, sulfate, aluminium et hydrogène, par exemple. Ils mesurent également les débits des cours d'eau et le volume des précipitations. À l'aide de ces données, les scientifiques peuvent calculer les quantités de matières qui pénètrent dans un bassin versant et y circulent. Ils peuvent ainsi avoir un aperçu de ce qui se produit dans le bassin versant et savoir quelles sont les substances à l'origine des changements observés dans l'environnement.

Bien que l'on pense souvent qu'il s'agit d'un problème propre à l'est du Canada, les pluies acides touchent l'ensemble du pays. La pluie et d'autres formes de précipitations pénètrent dans les écosystèmes aquatiques par le ruissellement de surface et l'écoulement souterrain principalement. Le volume des pluies acides se déposant directement dans les écosystèmes aquatiques est relativement faible. D'après une étude des divers types de sol et de substrats de tout le Canada, on considère que 40 % des terres présentent un faible potentiel de neutralisation des pluies acides. C'est donc dire que les écosystèmes aquatiques de ces terres (figure 26) sont très vulnérables aux pluies acides. Seulement 23 % des écosystèmes aquatiques canadiens sont situés dans des zones présentant un potentiel naturel élevé de neutralisation de l'acidité des précipitations (Environnement Canada, 1988*a*).

Il existe de nombreux indicateurs biologiques de l'acidification des eaux de surface. La croissance d'algues filamenteuses est un signe que la biologie d'un lac a été modifiée par des stress acides. La perte de populations de poissons a aussi été établie. Des espèces d'algues et de zooplancton peuvent disparaître sans que l'on observe d'effets marqués dans l'immédiat. Toutefois, à un moment donné, l'écosystème aquatique se trouve dans un déséquilibre total, car un trop grand nombre d'éléments clés ont été perdus. Les changements ne se produisent pas de façon instantanée, mais sur de longues périodes.

L'acidification expérimentale d'un petit lac du Bouclier canadien présentant un faible potentiel de neutralisation des acides — le lac 223 de la région des lacs expérimentaux, dans le nord-ouest de l'Ontario — a permis de recueillir des renseignements d'importance sur les effets de l'acidification sur des écosystèmes entiers (Schindler et collab., 1985). D'après les résultats, les premiers dommages écologiques ont peut-être eu des répercussions plus graves que prévu. Par exemple, on a observé que des écosystèmes aquatiques étaient agressés à un pH atteignant une valeur aussi élevée que 5,8 et que certaines espèces avaient disparu.

L'acidification des eaux de surface est également associée à la réduction des prises de poisson. La figure 32 illustre ce problème pour un certain nombre de rivières à saumon de la Nouvelle-Écosse. La ligne pointillée représente la tendance des prises de saumon dans des cours d'eau actuellement très acides, et la ligne pleine, la tendance des prises dans des cours d'eau actuellement peu acides. C'est pendant les années 1940 et 1950 que les prises ont commencé à diminuer dans certaines rivières. On estime à présent que cette diminution était due à l'acidification; malheureusement, elle a commencé bien avant que des études chimiques aient été effectuées dans ces cours d'eau. Il s'agit d'un bon exemple d'un problème courant auquel les chercheurs se heurtent lorsqu'ils tentent d'étudier des changements biologiques à long terme. Dans bien des cas, ils ne disposent pas de renseignements historiques sur l'acidification. On s'estime heureux de disposer de relevés de la chimie des eaux même s'ils ne portent que sur dix années, et ceux étalés sur vingt ans sont très rares. De toute évidence, il est difficile de faire des prévisions à long terme à partir de données aussi limitées.

Les effets de l'acidification sur les sols, les eaux de surface et les écosystèmes aquatiques sont assez bien étayés, mais on connaît beaucoup moins les effets de ce phénomène sur les écosystèmes forestiers. Jusqu'à 1980 environ, au

## Les changements causés par les pluies acides dans la chimie des eaux des lacs

Les résultats de recherches récentes mettent en évidence l'état des connaissances au sujet des pluies acides et appuient l'hypothèse à l'effet que l'acidification des lacs est principalement attribuable aux dépôts d'acide sulfurique sur les sols des bassins versants. Le pH* d'un lac sain demeure relativement stable grâce à l'effet tampon des bicarbonates de calcium et de magnésium résultant des réactions normales de l'altération provoquée par l'acide carbonique. Par conséquent, un lac en bon état devrait présenter des concentrations équivalentes de calcium + magnésium et d'alcalinité (mesure de la capacité d'un lac de neutraliser des composés acides); en d'autres termes, le rapport alcalinité–calcium + magnésium devrait être de 1:1. On peut voir à la figure 27 où se situent certains lacs canadiens par rapport à la ligne représentant un rapport de 1:1. Les lacs de la région de Muskoka–Haliburton, en Ontario, sont sous cette ligne, ce qui signifie que leur eau n'est pas suffisamment alcaline. Cette observation appuie la théorie selon laquelle les pluies acides se traduisent par une perte d'alcalinité et par le lessivage du calcium et du magnésium du sol vers les eaux de surface. Les rapports sont encore plus faibles pour les lacs de la région de Sudbury.

Pour mieux appuyer l'hypothèse à l'effet que les pluies acides ont entraîné des changements dans la chimie des eaux des lacs, on a comparé (figure 28) la teneur en calcium + magnésium avec la teneur en sulfate et le degré d'alcalinité de l'eau des lacs faisant l'objet de la figure 27. Dans tous les lacs examinés, la teneur en calcium + magnésium en excès est équivalente à la teneur en sulfate; cela indique que le sulfate est à l'origine des changements observés dans la chimie des eaux.

La figure 29 donne l'état des eaux de surface dans l'est du Canada d'après le rapport alcalinité–calcium + magnésium établi au moyen d'échantillons d'eau prélevés dans environ 8000 lacs au cours d'un certain nombre d'années (Jeffries, 1986). Dans de nombreuses régions, le rapport a diminué, car l'acidification a fait baisser l'alcalinité ou a fait augmenter les teneurs en calcium + magnésium, quand elle n'a pas eu les deux effets à la fois. Quand le rapport est de 0 (0,0 sur la figure 29), le lac est « acide ». Les lacs acides sont dépourvus de poissons et ont subi un maximum de dommages biologiques. D'après les estimations, 14 000 lacs sont acides dans l'est du Canada, et certains cours d'eau de la Nouvelle-Écosse ont été gravement touchés. De vastes régions de l'Ontario, du Québec et de la Nouvelle-Écosse correspondent approximativement aux isolignes 0,2 (rapport); cela signifie que les eaux de surface renferment moins de 20 % de l'alcalinité que l'on devrait y trouver dans des conditions d'altération normales.

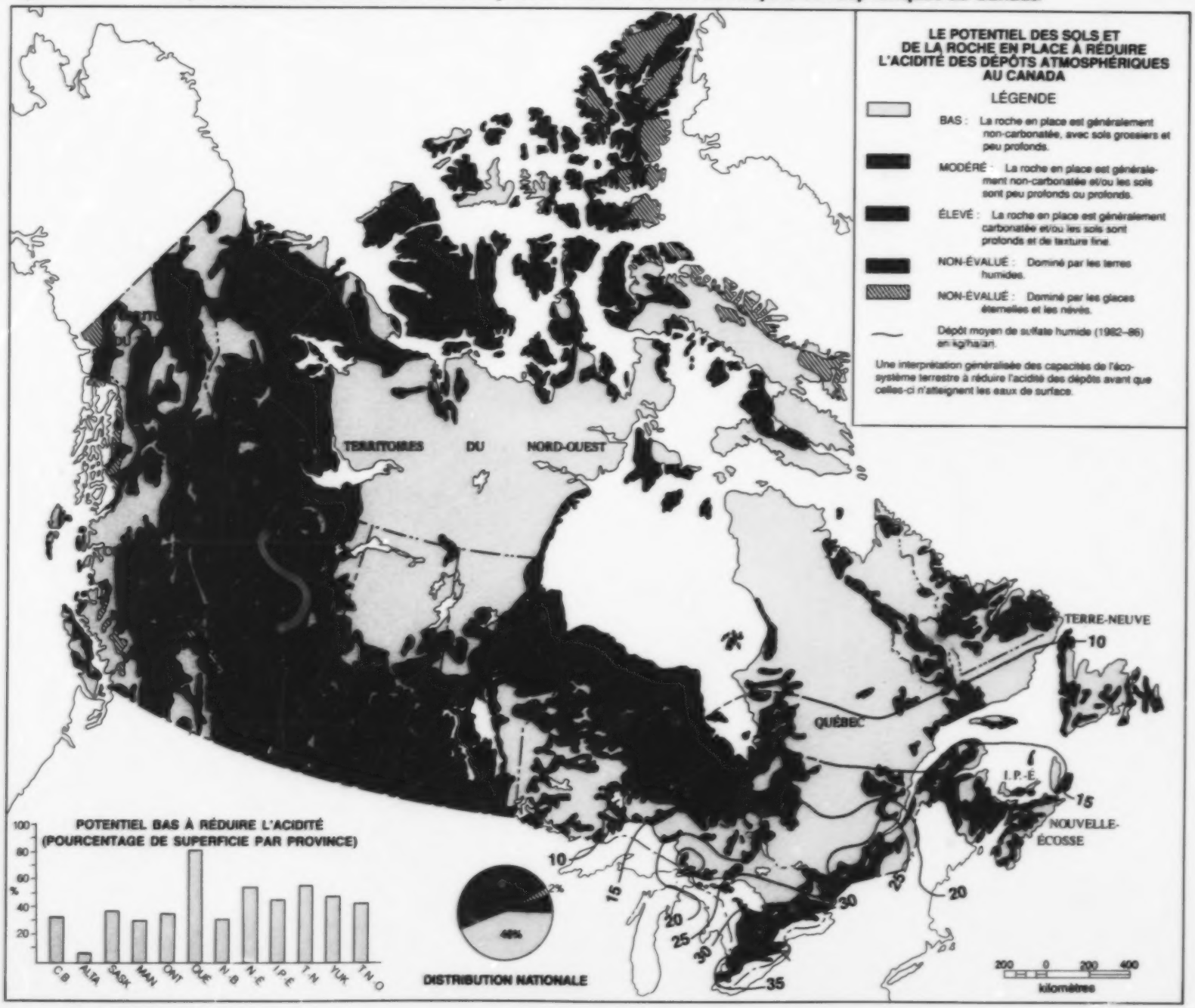
La figure 30 permet de mieux comprendre pourquoi les rapports présentés à la figure 29 sont faibles (Jeffries, 1986). Les isolignes des rapports sulfate–calcium + magnésium de la figure 30 reflètent les isolignes de la figure 29, et les rapports élevés de la figure 30 correspondent à des rapports faibles sur la figure 29. C'est donc dire que, dans les zones où l'alcalinité a diminué, les teneurs en sulfate ont augmenté; cette augmentation s'est produite là où les dépôts de sulfate sont le plus élevés (figure 31).

* Le pH est l'unité scientifique employée pour mesurer le degré d'acidité et d'alcalinité d'un milieu. Les valeurs du pH varient de 0 à 14. Une solution dont le pH est de 7 est neutre : elle n'est ni acide ni alcaline. Les solutions dont le pH est inférieur à 7 sont acides; plus le pH est bas, plus la solution est acide. L'échelle du pH est logarithmique; cela signifie qu'une augmentation d'une unité du pH équivaut à une multiplication de la concentration de l'ion hydrogène, ou de l'acidité, par un facteur de dix. Ainsi, un acide dont le pH est de 5 est dix fois plus fort qu'un acide dont le pH est de 6, et un acide dont le pH est de 4 est dix fois plus fort qu'un acide dont le pH est de 5, et ainsi de suite. L'eau pure — qui est en équilibre avec le dioxide de carbone dans l'atmosphère — a un pH d'environ 5,6. Toutefois, le pH des pluies normales peut être aussi bas que 5,0, car ces pluies renferment invariablement de faibles concentrations d'acides forts naturels.

moment où l'on a observé pour la première fois la détérioration des forêts allemandes, on s'inquiétait peu de l'état des forêts. Depuis ce temps, les forêts d'autres régions de l'Europe et en Amérique du Nord se sont dégradées. Les érables à sucre subissent également un dépérissement évident dans certains secteurs de l'est du Canada. D'après les études réalisées jusqu'à maintenant, ce dépérissement est dû aux effets conjugués d'une série complexe de facteurs, notamment la sécheresse, les conditions climatiques, les polluants atmosphériques et l'acidification. Ce dernier facteur modifie la chimie des sols, ce qui influe directement sur la végétation forestière.

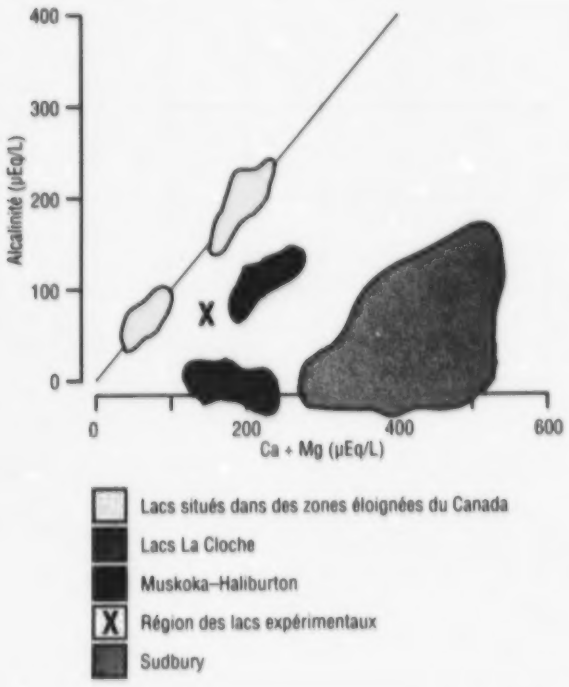
Les matériaux de construction comme le calcaire, le marbre et le grès sont vulnérables à l'anhydride sulfureux et à l'acide sulfurique, qui réagissent avec le carbonate de calcium présent dans ces matériaux pour former du sulfate de calcium. La quantité de sulfate de calcium ainsi formée est plus importante que la quantité de carbonate de calcium, de sorte que la surface des structures se dilate et commence à se fissurer et à s'effriter. Dans le cas des bâtiments, il est difficile d'évaluer l'étendue des dégâts étant donné que, s'il n'existait pas de pollution, on pourrait sans doute s'attendre qu'ils aient une durée utile d'environ 500 ans. Toutefois,

**Figure 26** **Le potentiel des sols et de la roche en place à réduire l'acidité des dépôts atmosphériques au Canada**




Source : Environnement Canada, 1988a.

**Figure 27**
**Rapports alcalinité–calcium + magnésium dans certains lacs canadiens**



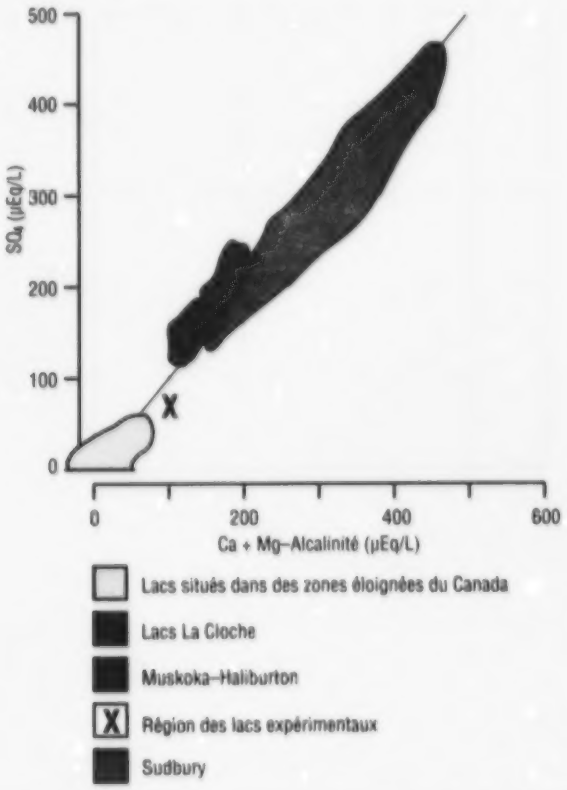

SOURCE : Dillon et collab., 1980.

REMARQUE : Les zones ombrées représentent la répartition des données relatives aux lacs de chaque région indiquée dans la légende.

une étude échelonnée sur cinq à six ans ne permettrait peut-être pas de quantifier un taux accéléré de détérioration. D'après les observations, la pollution réduira la durée utile des bâtiments.

Au Canada, en raison des problèmes locaux de qualité de l'air dans les centres urbains et à proximité des grandes fonderies, des mesures ont été prises depuis bon nombre d'années pour réduire les émissions d'anhydride sulfureux, notamment à Trail, en Colombie-Britannique, dans les années 1930, et dans la région de Sudbury, dans les années 1960. Ces mesures antipollution ont été prises pour améliorer la qualité de l'air local; leur efficacité a été telle que, pendant les années 1970, les émissions totales d'anhydride sulfureux dans l'est du Canada ont diminué de 30 % (figure 33). D'autres pays ont aussi pris des mesures similaires. Par exemple, aux États-Unis, on a constaté une réduction d'environ 25 % des émissions d'anhydride sulfureux durant la même période.

**Figure 28**
**Rapports sulfate–calcium + magnésium en excès dans certains lacs canadiens**



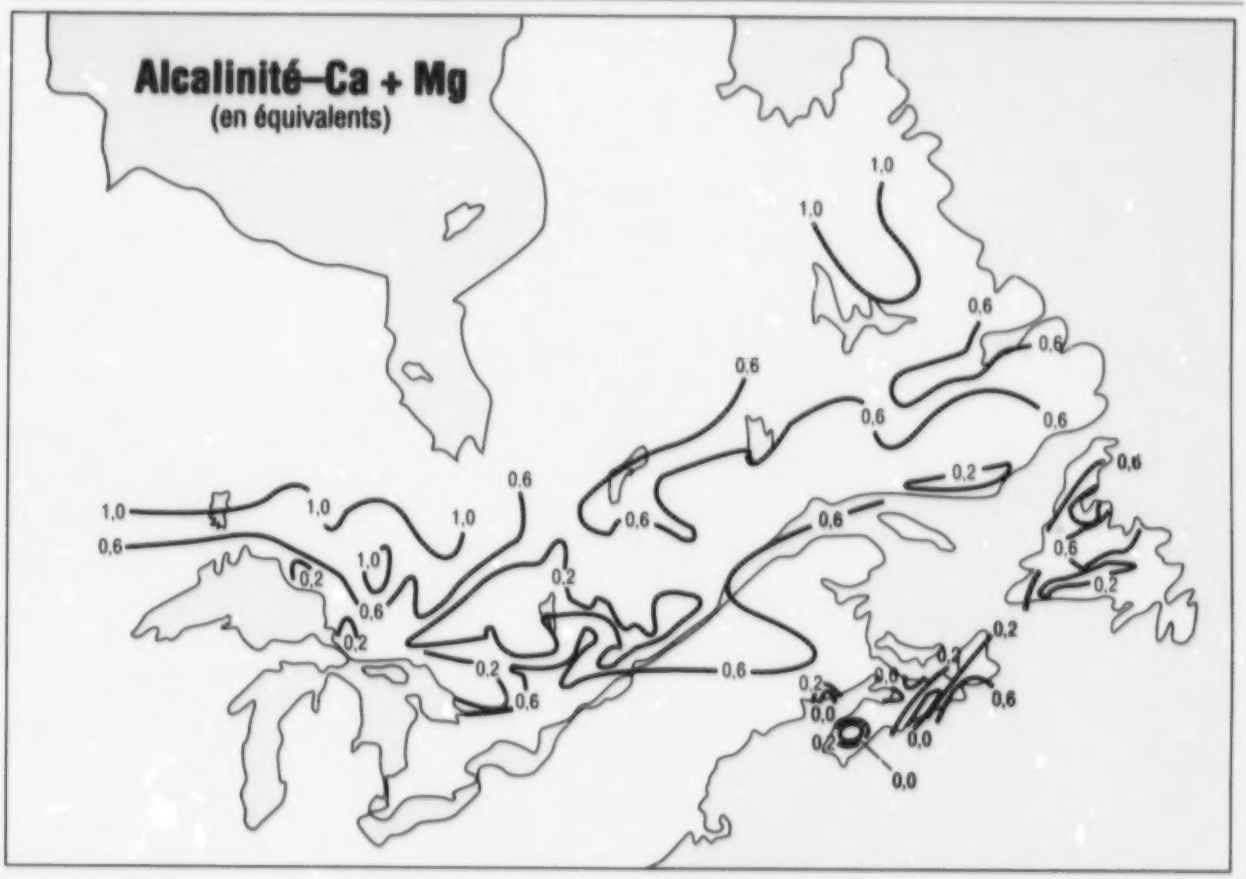

SOURCE : Dillon et collab., 1980.

REMARQUE : Les zones ombrées représentent la répartition des données relatives aux lacs de chaque région indiquée dans la légende.

Cependant, au cours des années 1970, à mesure que l'on comprenait mieux le processus du transport à grande distance des polluants atmosphériques, la nécessité d'instaurer d'autres mesures antipollution devenait évidente (Brydges, 1988). En 1981, le Canada a établi des directives nationales touchant les émissions d'oxydes d'azote, d'anhydride sulfureux et de matières particulaires provenant des nouvelles centrales thermiques. En 1982, les sociétés Inco Ltd. de Sudbury et Ontario Hydro ont été tenues de réduire les émissions de leurs installations afin de limiter le transport à grande distance des polluants atmosphériques.

En 1984 et 1985, les sept provinces de l'Est et le gouvernement fédéral ont convenu de mettre en œuvre un programme destiné à réduire de moitié la limite réglementaire de 4,6 millions de tonnes d'anhydride sulfureux établie en

**Figure 29**
**État des eaux de surface dans l'est du Canada, déterminé d'après le rapport alcalinité–calcium + magnésium**




SOURCE : Jeffries, 1986.

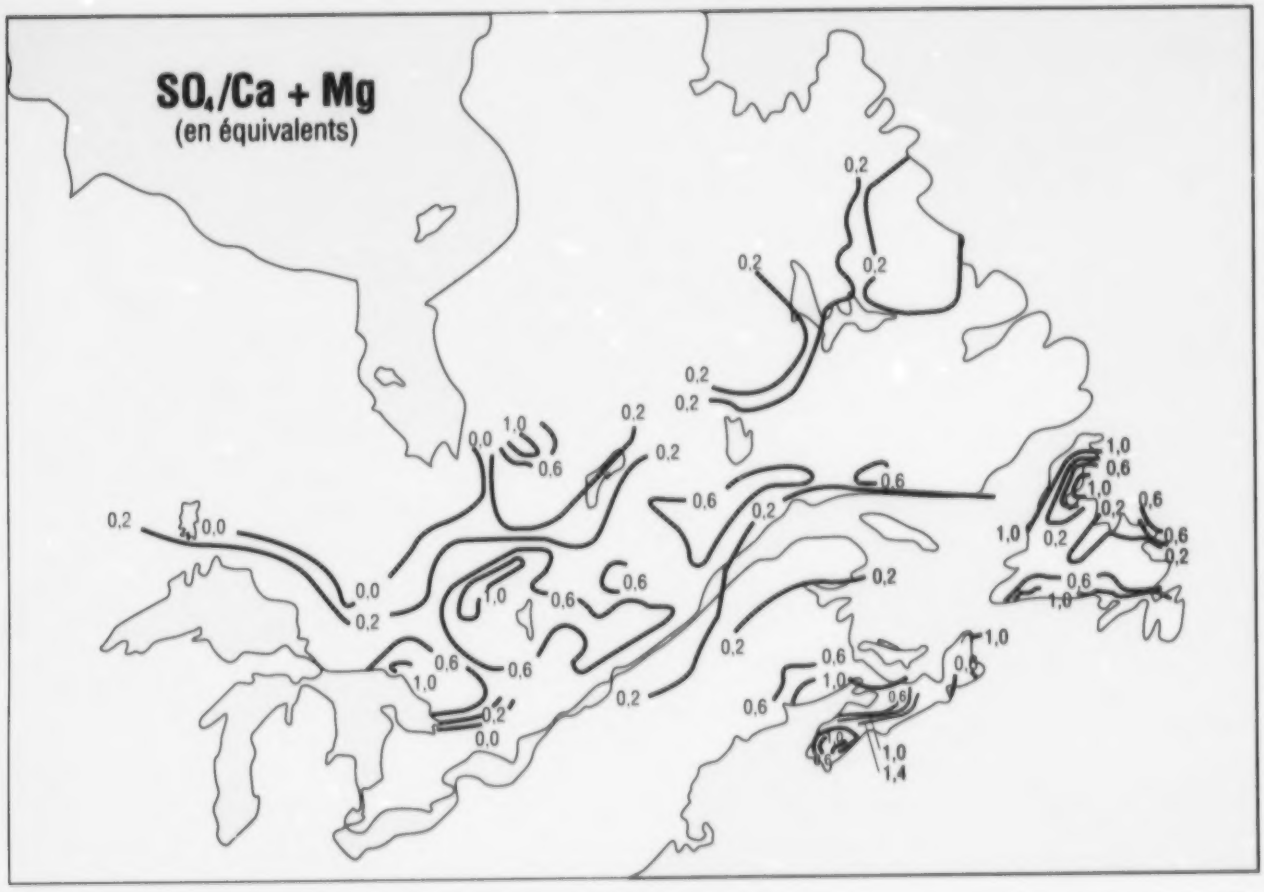
REMARQUE : Cette carte a été établie en fonction d'environ 8000 points d'échantillonnage.

1980 pour l'est du Canada; cette nouvelle limite de 2,3 millions de tonnes doit être atteinte d'ici 1994 grâce à une série de mesures antipollution. D'importants progrès ont été réalisés jusqu'à maintenant : une société est en train de construire une importante installation antipollution et d'autres grandes entreprises mettent actuellement en œuvre leur propre programme de lutte de façon à atteindre l'objectif fixé pour 1994. Ontario Hydro a récemment annoncé que son programme de lutte coûtera entre trois et cinq milliards de dollars, selon le taux d'augmentation de la consommation d'électricité, ce qui se traduira par une hausse d'environ 3 % des tarifs.

L'acidification causée par l'anhydride sulfureux étant mieux comprise par les scientifiques, le Canada a agi énergiquement pour réduire les émissions de ce polluant. Il a également pris des mesures touchant les émissions d'oxydes d'azote en imposant l'installation de dispositifs antipollution sur les véhicules utilitaires légers en septembre 1987 et sur les véhicules utilitaires lourds en décembre 1988. L'ordonnance provinciale visant les centrales thermiques d'Ontario Hydro limite les émissions totales de gaz acides, restreignant par le fait même tant les émissions d'anhydride sulfureux que les émissions d'oxydes d'azote. Pour se conformer à l'ordonnance, Ontario Hydro a installé des brûleurs spéciaux dans ses centrales afin de réduire les émissions d'oxydes d'azote.

Les émissions d'anhydride sulfureux ont diminué considérablement tant au Canada qu'aux États-Unis. Dans certaines zones sous le vent des sources de pollution, on a observé des signes de rétablissement des écosystèmes

**Figure 30**
**État des eaux de surface dans l'est du Canada, déterminé d'après le rapport sulfate–calcium + magnésium**

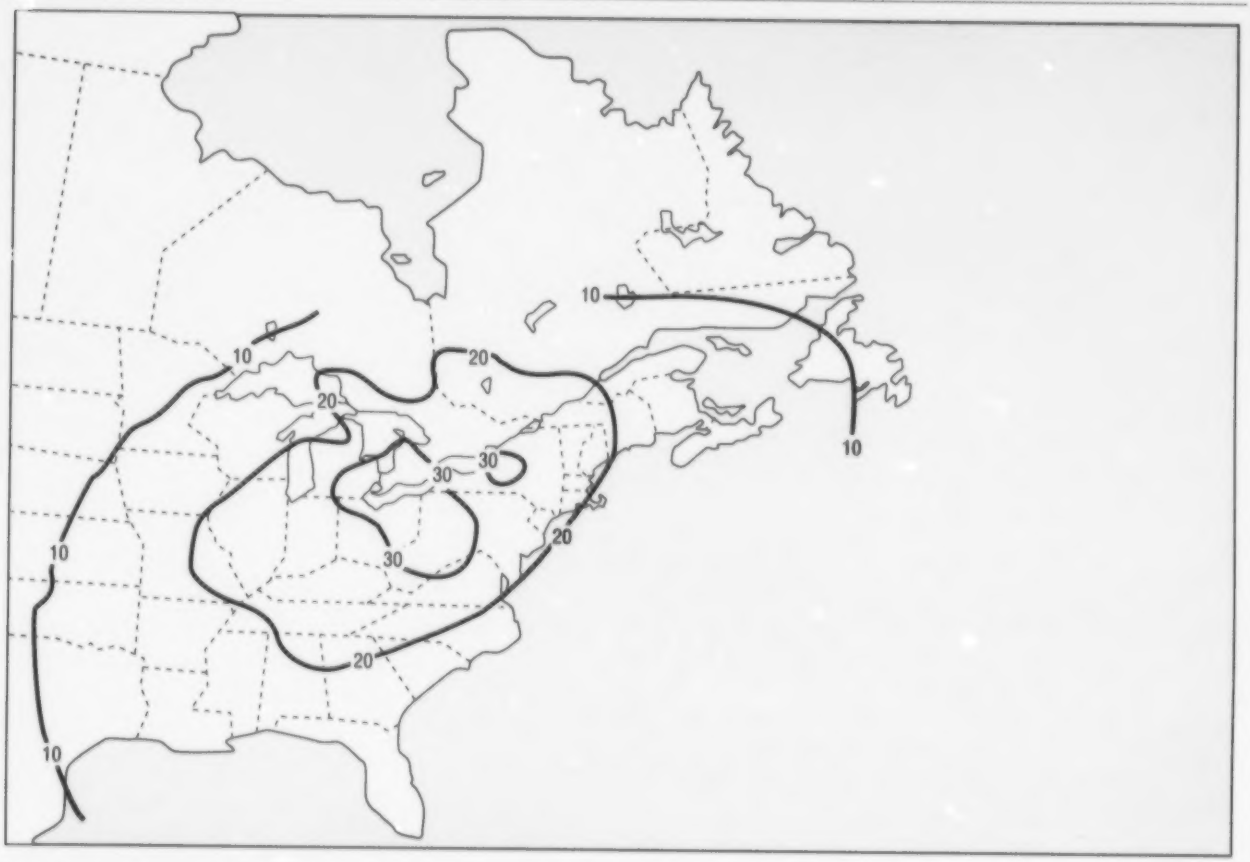



SOURCE : Jeffries, 1986.

aquatiques, mais les zones toujours sujettes à des dépôts excessifs continuent de se détériorer. Au Canada, ce phénomène s'explique par le fait que la capacité tampon des eaux de surface varie énormément d'une région à l'autre. Cependant, on a observé des améliorations dans certains cours d'eau de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve (tableau 9), améliorations correspondant aux diminutions des émissions d'anhydride sulfureux et des concentrations de sulfate exportées du bassin versant. On a également constaté que l'état de certains lacs s'améliorait dans les environs de Sudbury (figure 34), et c'est là une preuve scientifique confirmant l'hypothèse à l'effet que la situation s'améliorerait avec la diminution des émissions d'anhydride sulfureux.

Bien que les dommages causés à l'environnement par les dépôts de soufre soient bien étayés, les effets des dépôts actuels d'azote, qui semblent toutefois être minimes au Canada, sont moins bien connus. Néanmoins, au cours des dernières années, les scientifiques ont accordé une plus grande attention aux problèmes qui pourraient surgir à cet égard et à l'élaboration d'objectifs fondés sur des données scientifiques touchant les dépôts de nitrate. Ces objectifs serviraient de fondement aux mesures à long terme destinées à lutter contre les émissions. Pour le moment, le Canada ne juge pas nécessaire de modifier les limites de 1987 ayant trait aux émissions d'oxydes d'azote et ce, tant que des renseignements plus complets sur les charges limites acceptables à long terme n'auront pas été recueillis dans le cadre d'études scientifiques.

**Figure 31**
**Schéma des dépôts annuels moyens de sulfate (kg/ha, par année) en Amérique du Nord, 1982–1987**



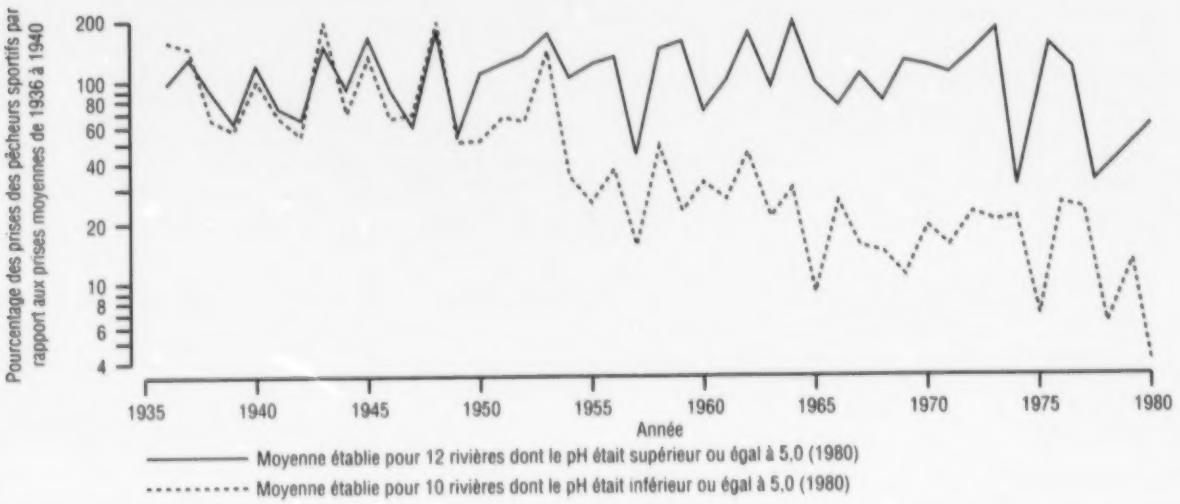

SOURCE : Service de l'environnement atmosphérique, 1990.

## La pollution atmosphérique dans l'Arctique

L'Arctique a toujours été réputé pour la pureté de son air mais, au cours des dernières années, des observations ont confirmé la présence de polluants atmosphériques dans cette région. La pollution anthropique qui atteint l'Arctique et y réduit la visibilité est appelée *brume arctique*. Les matières polluantes qui la constituent proviennent principalement de l'Asie et de l'Europe et, dans une moindre mesure, de l'Amérique du Nord. Le terme a été utilisé pour la première fois dans une publication datant des années 1950 (Mitchell, 1957), dans laquelle on signalait que la brume arctique était due à des particules dont le diamètre ne dépassait pas 2 µm, qu'elle formait des masses d'une largeur de 800 à 1300 km et qu'on pouvait l'observer à n'importe quelle hauteur dans l'atmosphère, à une distance de 9 km ou moins de la surface de la Terre. Ce n'est que pendant les années 1970 que la brume arctique a de nouveau soulevé des préoccupations, car on s'est rendu compte que l'atmosphère de l'Arctique présentait un degré élevé de « trouble atmosphérique ». Le trouble atmosphérique est une mesure de la réduction du rayonnement solaire direct entraînée par la présence de matières particulaires. Par suite de cette constatation, nos connaissances scientifiques de ce phénomène ont connu des progrès beaucoup plus marquants au cours des cinq dernières années qu'au cours des vingt-cinq années précédentes (Barrie, 1986).

Théoriquement, quand l'atmosphère n'est pas polluée, on peut voir sur une distance de 200 km. En présence d'une brume causée par les polluants dans l'atmosphère, cette distance peut être réduite à moins de 50 km. Une corrélation a été établie entre l'acidité de la neige sur le glacier Agassiz, situé dans le nord de l'île d'Ellesmere, et la profondeur des mesures. De plus, cette acidité présente des variations saisonnières marquées correspondant à celles de la pollution

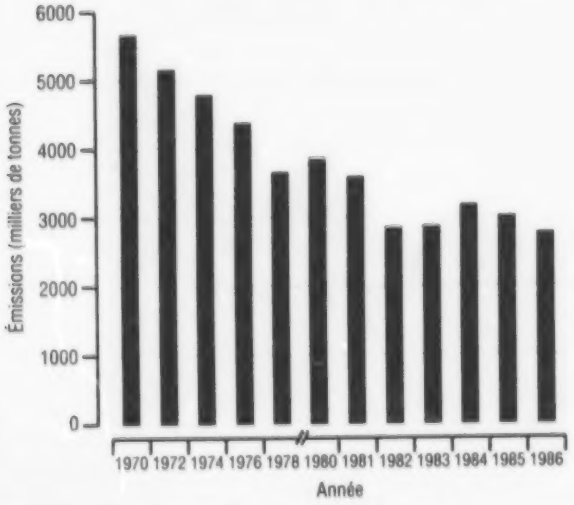
**Figure 32**
**Tendances des captures de saumon de l'Atlantique, 1936–1980**




SOURCE : Watt et collab., 1983.

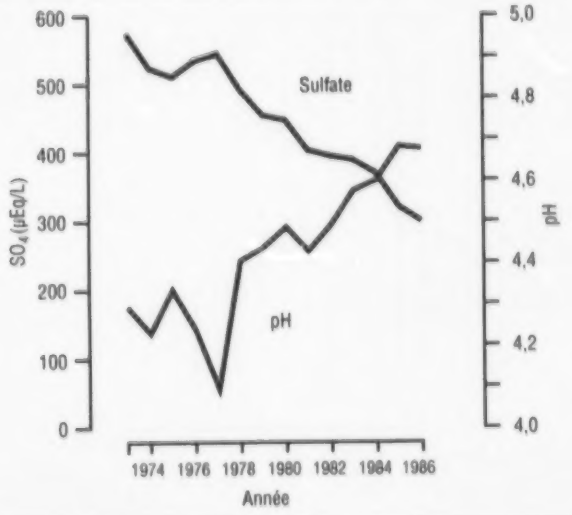
REMARQUE : Les données sur la pêche sportive ont été normalisées afin de faciliter la comparaison entre les cours d'eau présentant un pH élevé et ceux présentant un pH bas. Le pourcentage des prises a été établi, pour chaque cours d'eau, par rapport aux prises moyennes de 1936 à 1940 de façon que les prises dans tous les cours d'eau soient également pondérées, puis les moyennes annuelles des deux groupes ont été établies.

**Figure 33**
**Tendances des émissions d'anhydride sulfureux dans l'est du Canada, 1970–1986**




SOURCE : Vena, 1989.

**Figure 34**
**Tendances des concentrations de sulfate et d'acidité dans le lac Clearwater, près de Sudbury, en Ontario, 1973–1986**




SOURCE : Dillon et collab., 1986.

REMARQUE : Les valeurs correspondent aux moyennes annuelles pour l'ensemble du lac.

**Tableau 9**
**Changements survenus dans les émissions d'anhydride sulfureux dans l'est du Canada et le nord-est des États-Unis, l'exportation annuelle de sulfate des bassins versants et le pH des cours d'eau**

| Paramètre | 1971–1973 | 1982–1984 | Changement |
|---|---|---|---|
| Émissions annuelles d'anhydride sulfureux (moyennes exprimées en millions de tonnes) | 27 | 20 | –25 % |
| Exportation des bassins versants (kg de $SO_4$/ha, par année) | | | |
| — Nouvelle-Écosse | 39 | 21 | –47 % |
| — Terre-Neuve | 32 | 18 | –44 % |
| Valeurs médianes du pH des cours d'eau | | | |
| — Nouvelle-Écosse | 4,4–6,5 | 4,5–6,7 | |
| — Terre-Neuve | 5,5–7,7 | 6,1–7,8 | |

atmosphérique dans l'Arctique : pendant l'année, l'acidité est maximale quand la pollution atmosphérique est également maximale (Barrie, 1985). Une comparaison des données historiques sur l'acidité maximale mesurée dans des carottes de glace et sur les émissions d'anhydride sulfureux en Europe et dans l'ouest de l'U.R.S.S. au XX$^{e}$ siècle confirme cette corrélation (Barrie et collab., 1985).

En raison des caractéristiques propres à la masse d'air arctique en été et en hiver, les problèmes de pollution dans l'Arctique sont uniques en leur genre. La figure 35 donne les principales sources nord-américaines de pollution atmosphérique qui influent sur la qualité de l'air de l'Arctique. Les limites typiques de la masse d'air arctique en janvier, au moment où la pollution est à son plus fort, sont aussi présentées dans cette figure. En hiver, les vents dominants transportent les polluants jusqu'à la masse d'air arctique. Les matières polluantes de l'est de l'Amérique du Nord sont généralement transportées vers l'est au-dessus de l'Atlantique Nord, qui connaît de nombreux orages pendant cette saison, et n'influent donc pas de façon significative sur la masse d'air arctique. En été, le transport de polluants dans la direction sud-nord est réduit et une forte nébulosité caractérise l'Arctique, ce qui minimise la pollution dans cette zone.

Dans l'atmosphère, la brume se présente sous forme d'aérosols constitués approximativement d'un tiers de composés de sulfate, d'un tiers de suie et d'hydrocarbures et d'un tiers de particules naturelles provenant des océans et du sol. Les particules de sulfate en suspension dans l'air sont composées d'acide sulfurique et de sulfate d'ammonium. Il y a formation de sulfate d'ammonium quand il y a réaction entre l'acide sulfurique et l'ammoniac. La suie provient de la combustion de combustibles fossiles (p. ex, le mazout et le

**Figure 35**
**Position de la masse d'air arctique en janvier**

SOURCE : Environnement Canada, 1984.

REMARQUE : Dans l'Arctique, la pollution est le plus marquée en janvier. Les zones d'où proviennent les matières polluantes sont ombrées. L'une des caractéristiques de la masse d'air arctique est que les polluants y persistent beaucoup plus longtemps en hiver qu'en été. Stations de surveillance de la qualité de l'air dans l'Arctique canadien : M — Mould Bay, A — Alert, I — Igloolik (Territoires du Nord-Ouest).

charbon) et de la combustion du bois. Dans l'Arctique, les concentrations moyennes hebdomadaires de sulfate provenant des industries du sud du pays sont de 20 à 40 fois plus élevées en hiver qu'en été (0,1 $\mu g/m^3$). En moyenne, les concentrations de sulfate mesurées dans la brume arctique en hiver ne sont que de deux à trois fois moins élevées que celles relevées dans les zones rurales de l'est du Canada et des États-Unis.

En plus d'être à l'origine des pertes observées de visibilité, la pollution influerait sur le climat et l'écosystème arctiques. La présence, dans l'air de l'Arctique, de particules anthropiques contenant de la suie accroît le degré de rayonnement solaire piégé dans la troposphère. De surcroît, comme elles sont davantage souillées, les couches supérieures du manteau nival (enneigement) absorbent les rayons solaires. Ces deux facteurs influent sur la pénétration et la réverbération du rayonnement et peuvent modifier le

climat de l'hémisphère Nord. D'après les mesures effectuées, la neige qui tombe en hiver est légèrement plus acide (pH de 4,9 à 5,2). On a observé qu'il peut se produire un lessivage des composantes acides au début de la fonte des neiges; cette eau de fonte peut donc présenter une acidité plusieurs fois plus élevée que celle de la neige elle-même.

Dans l'Arctique, les polluants atmosphériques peuvent aussi transporter des substances potentiellement toxiques émises à des latitudes moyennes et déposées dans cette région. Parmi ces substances, mentionnons des métaux comme le mercure, et des herbicides ou des pesticides. Leur accumulation dans les écosystèmes arctiques et dans les sources d'alimentation des populations autochtones est inquiétante.

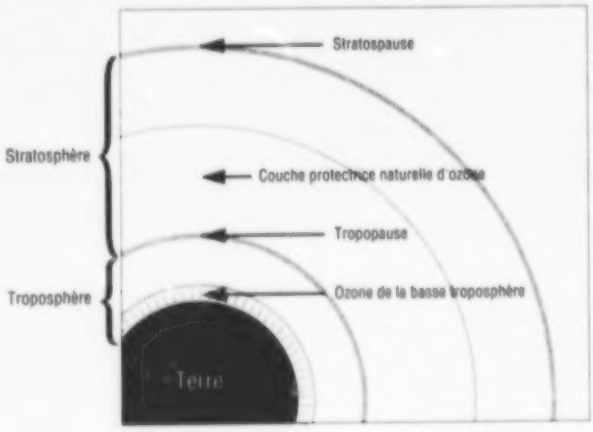
## Les problèmes mondiaux

### L'appauvrissement de l'ozone stratosphérique

La stratosphère, couche de l'atmosphère située à une hauteur d'environ 11 à 47 km au-dessus de la surface de la Terre, est relativement stable et elle est stratifiée parce que la température de l'air augmente en fonction de la hauteur (figure 36). Le réchauffement de l'air dans la stratosphère est principalement dû à la présence d'ozone, un gaz qui absorbe le rayonnement solaire pénétrant cette couche ainsi que l'énergie réfléchie par la Terre. Environ 90 % de l'ozone atmosphérique est concentré dans une couche de la stratosphère s'étendant depuis la tropopause, qui sépare la troposphère et la stratosphère, jusqu'à une hauteur d'environ 40 km; la concentration de l'ozone y atteint un maximum à environ 22 km de hauteur. Au-dessus de la surface de la Terre, la hauteur de la totalité de l'ozone que contient une colonne atmosphérique à pression et à température normales varie de 2 à 5 mm, selon la latitude et le moment de l'année.

La présence d'ozone dans la stratosphère influe sur l'environnement de deux façons importantes. D'abord, la structure des températures de la stratosphère dépend de la quantité d'énergie radiante absorbée par l'ozone, et cette structure influe sur la circulation générale et les phénomènes climatiques de l'atmosphère. Ensuite, la quantité du rayonnement ultraviolet B qui traverse l'atmosphère jusqu'à la surface de la Terre dépend de la concentration d'ozone atmosphérique. Un rayonnement ultraviolet B accru est préjudiciable aux êtres humains : il entraîne une suppression du système immunitaire, un vieillissement prématuré de la peau et une augmentation de la fréquence des cataractes, des coups de soleil et des cancers de la peau. Il peut également provoquer une diminution du rendement de cultures comme le blé, le riz, le maïs et les fèves de soja. En outre, une modification de l'intensité de ce type de rayonnement perturberait la croissance des forêts et des organismes

**Figure 36**
**L'ozone atmosphérique**



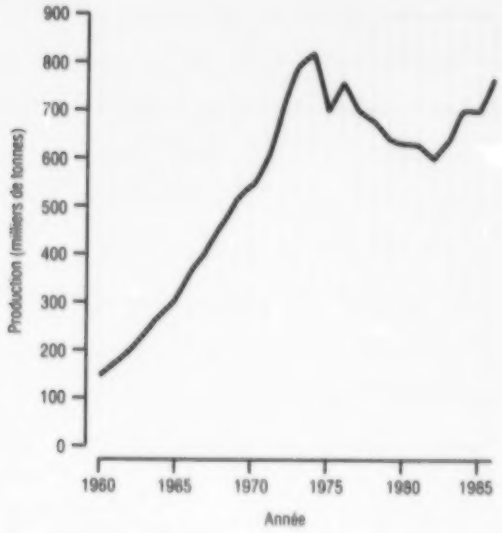

REMARQUE : La hauteur de la troposphère varie en fonction de la latitude.

aquatiques vivant près de la surface de l'océan. Les matériaux en résine synthétique se dégradent plus rapidement lorsqu'ils sont soumis à une exposition accrue à ce rayonnement.

Depuis deux décennies, le fait que certaines activités humaines risquent d'appauvrir la couche d'ozone stratosphérique suscite de vives inquiétudes. Au début des années 1970, on a avancé que l'ozone stratosphérique était vulnérable aux chlorofluorocarbures (CFC), une famille de gaz chlorés d'origine anthropique couramment employés à des fins tant domestiques qu'industrielles. Les CFC sont des substances chimiques stables non toxiques qui restent dans l'atmosphère jusqu'à ce qu'ils subissent une décomposition chimique (photolyse) et forment du chlore, sous l'action d'un rayonnement ultraviolet intense qui ne s'observe qu'au-dessus de la couche d'ozone. Une seule molécule de chlore peut détruire, par catalyse, un million de molécules d'ozone avant de quitter l'atmosphère.

D'après les mesures de l'ozone et d'autres gaz de la même famille chimique, l'appauvrissement de la couche d'ozone prévu dans les années 1970 est maintenant une réalité. Par exemple, au-dessus de Toronto, la concentration d'ozone a diminué d'environ 4 % depuis le milieu des années 1970. Depuis cette même époque, l'observation la plus frappante a été une diminution, au mois d'octobre de chaque année, de 50 % des concentrations d'ozone au-dessus de l'Antarctique. Des études poussées au sujet de ce « trou »

**Figure 37**
**Production mondiale de chlorofluorocarbures**




SOURCE : Environnement Canada, 1988*b*.

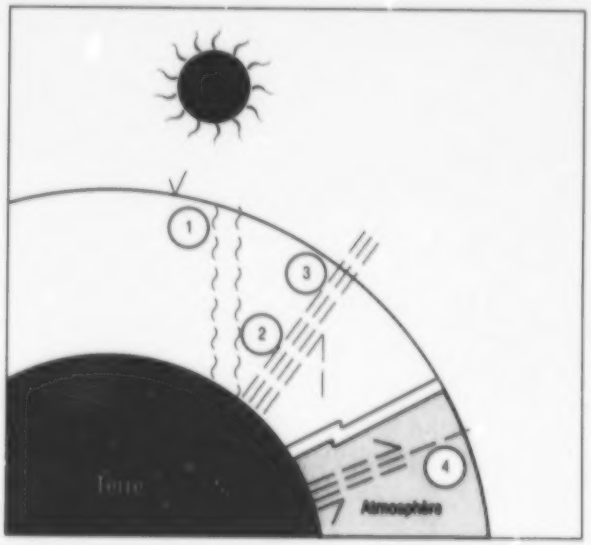
dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique ont révélé que l'ozone est détruit par d'importantes quantités de chlore.

Les CFC ont servi comme fluide caloporteur dans les réfrigérateurs et les climatiseurs d'air, comme agent propulseur dans les bombes aérosols, comme gonflant lors de la fabrication des mousses et comme solvant pour le nettoyage. Les restrictions quant à l'utilisation de CFC dans les bombes aérosols en Amérique du Nord au cours des années 1970 se sont traduites par une diminution temporaire de la production mondiale de CFC. Toutefois, on a continué d'utiliser ces composés à d'autres fins, ce qui a de nouveau fait augmenter leur production (figure 37). Compte tenu de l'usage continu de CFC et des signes de plus en plus nombreux que les CFC entraînent un appauvrissement de la couche d'ozone, le Programme des Nations Unies pour l'environnement a pris des mesures afin de réduire la production totale de CFC, par l'entremise de la Convention de Vienne pour la protection de la couche d'ozone et du Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone.

## Le changement climatique et le réchauffement du globe

Les conditions climatiques de la Terre conviennent parfaitement à la vie. Elles donnent lieu à une vaste gamme d'écosystèmes qui se sont tous adaptés aux conditions

**Figure 38**
**L'effet de serre**

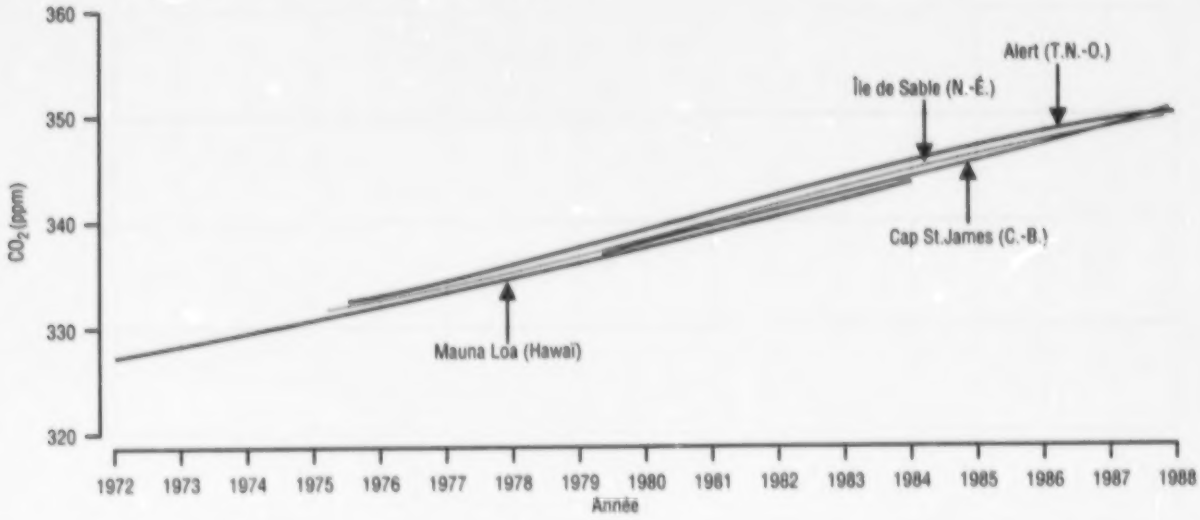



SOURCE : Environnement Canada, 1988*c*.

1— L'énergie solaire pénètre dans l'atmosphère sans être modifiée par les gaz à effet de serre.
2 — Le rayonnement solaire est absorbé par la Terre, puis est réverbéré dans l'espace sous forme d'ondes thermiques plus longues.
3 — Les gaz à effet de serre absorbent le rayonnement thermique et renvoient une grande partie de celui-ci vers la surface de la Terre, à la façon d'une couche isolante.
4 — Lorsque les gaz à effet de serre atteignent des concentrations plus élevées, ils piègent une plus grande partie du rayonnement thermique, ce qui provoque une augmentation de la température dans la basse atmosphère et à la surface de la Terre et, par conséquent, influe sur les conditions météorologiques et climatiques.

locales d'humidité et de température. D'importants changements climatiques se sont produits dans le passé mais ils n'ont jamais dépassé les limites au-delà desquelles aucune forme de vie ne pourrait plus s'adapter et survivre. L'une des principales raisons pour lesquelles le climat est un « système entretenant la vie » est la présence dans l'atmosphère de quantités infimes d'un certain nombre de gaz d'importance, couramment désignés sous le nom « de gaz à effet de serre ». Collectivement, ces gaz forment une couche isolante tout autour de la planète. Leur effet est minime sur le rayonnement solaire qui pénètre dans l'atmosphère et qui conditionne le climat de la Terre. Toutefois, ils ont une influence marquée sur le rayonnement de grandes longueurs d'onde provenant de la surface de la Terre et de la basse atmosphère et se dirigeant vers l'espace. En absorbant et en réfléchissant une partie importante de ce rayonnement, ils piègent la chaleur dans la basse atmosphère. Cet « effet de serre » est un phénomène naturel essentiel au maintien d'un climat supportable sur Terre (figure 38). S'il n'existait pas, la température à la surface de la Terre serait inférieure de 30 °C.

**Figure 39**
**Augmentation des concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère**

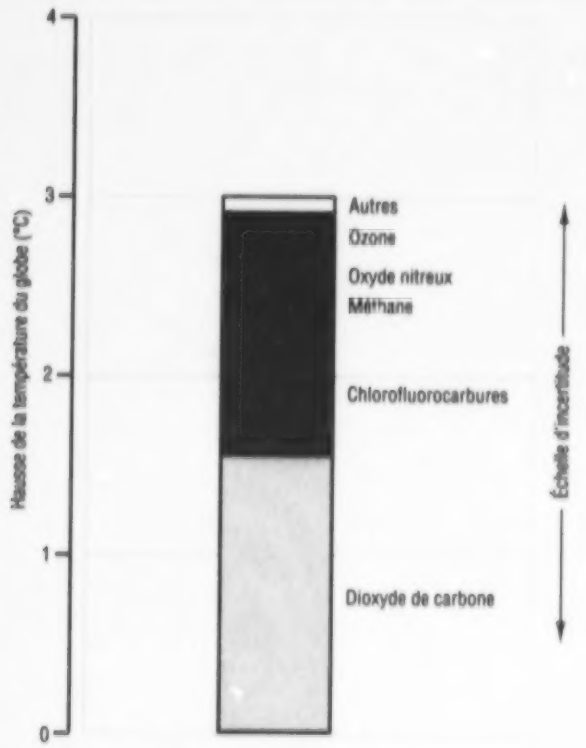



Source : Environnement Canada, 1988c.

D'après les mesures exactes des concentrations de dioxyde de carbone — le gaz à effet de serre le plus important et le plus abondant — effectuées depuis 30 ans, il ne fait pas de doute que les activités humaines provoquent des changements dans l'atmosphère de la planète. La teneur en dioxyde de carbone de l'atmosphère a augmenté de 10 % depuis 1958 (figure 39) et continue d'augmenter à un rythme de 0,4 % par année, ce qui représente un accroissement d'environ 25 % des concentrations de cette substance depuis l'ère préindustrielle. Les concentrations de méthane atmosphérique, un autre gaz à effet de serre fort efficace, augmentent de 1 % environ par année et ont presque doublé au cours des derniers siècles. La population mondiale accrue d'animaux domestiques et les superficies de plus en plus grandes consacrées à la culture du riz sont d'importantes sources de méthane, et l'on peut supposer que les concentrations de méthane dans l'atmosphère continueront d'augmenter. Les concentrations d'autres gaz à effet de serre, notamment l'oxyde nitreux, l'ozone et les CFC, sont aussi à la hausse. Les principales causes de l'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre sont l'augmentation rapide de la population mondiale, la consommation accrue de charbon, de pétrole et de gaz, le déboisement, les activités agricoles, les changements dans l'utilisation des terres et les procédés industriels.

On prévoit que les émissions de dioxyde de carbone provenant de la combustion des combustibles fossiles utilisés dans la production d'énergie augmenteront à un rythme moyen d'environ 1 % par année d'ici 2050 au moins. Ces prévisions touchant les émissions de dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère révèlent qu'il pourrait se produire, au bas mot, une augmentation de l'effet de serre correspondant au doublement des concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère par rapport à ce qu'elles étaient avant l'ère industrielle. On n'est pas certain du moment où ce phénomène se produira, mais il est possible qu'il ait lieu dès 2030 et probablement avant 2050. Les experts en sciences atmosphériques s'entendent maintenant à l'effet qu'il se produira un réchauffement climatique supérieur à ce que les humains ont pu connaître jusqu'à maintenant. D'après des études récentes, les températures moyennes à la surface de la Terre pourraient augmenter de 3,0 °C, l'effet de serre correspondant alors au doublement des concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (figure 40). Un tel changement climatique se traduirait probablement par un réchauffement automnal et hivernal marqué dans les régions situées à des latitudes élevées, des étés plus secs à des latitudes moyennes dans l'hémisphère Nord, une augmentation de l'humidité disponible dans les régions polaires, et une augmentation moyenne mondiale du niveau de la mer d'environ 1 m.

**Figure 40**
**Le réchauffement du globe**




SOURCE : Environnement Canada, 1988c.

Au Canada, on prévoit que le réchauffement global aura les effets suivants :

- L'agriculture sera sans doute favorisée par des saisons de croissance plus chaudes et plus longues, particulièrement dans les régions septentrionales.
- La croissance des cultures de plein champ pourrait augmenter de 15 % en raison de concentrations plus élevées de dioxyde de carbone.
- Dans les régions méridionales, l'agriculture pourrait être touchée par des sécheresses plus fréquentes et plus graves, et certaines zones des plaines pourraient se transformer en désert.
- En hiver, il ne se formera peut-être plus de glace sur les Grands Lacs.
- La diminution du ruissellement dans le bassin versant des Grands Lacs pourrait entraîner une baisse de 80 cm du niveau habituel des lacs.
- Des marais d'importance écologique, comme la Pointe Pelée, pourraient disparaître ou être grandement altérés.
- Le sud de l'Ontario pourrait connaître des hivers sans neige.

L'adaptation aux effets du changement climatique n'est certes pas un phénomène nouveau dans l'histoire de l'humanité. Comme les écosystèmes terrestres, les êtres humains ont modelé leur comportement et leur mode de vie d'après les caractéristiques des climats régionaux. Maintenant que l'on sait que l'être humain est en mesure, par ses activités, de modifier son environnement, la relation climat–société prend une autre dimension. La Terre est un système fort complexe. On ne comprend pas encore très bien son fonctionnement ni comment les changements atmosphériques anthropiques peuvent influer sur sa stabilité. Il s'agit d'un défi sans précédent que doit relever la communauté scientifique internationale. Jusqu'à récemment, seuls les scientifiques s'intéressaient aux changements provoqués par les activités humaines dans la structure et la composition de l'atmosphère. Maintenant que les répercussions de ces changements sont mieux compris, cette question prend de plus en plus d'importance pour les décideurs.

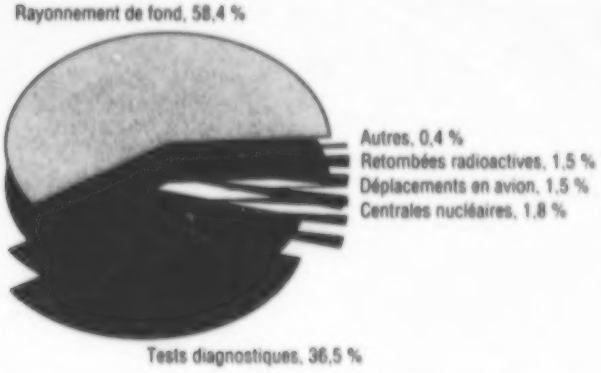
## La radioactivité atmosphérique

Les êtres humains sont exposés aux sources de radioactivité suivantes : les radiographies et les tests diagnostiques, les sources naturelles comme le rayonnement cosmique et les éléments comme l'uranium et le radon présents naturellement dans le milieu, les retombées radioactives des essais des armes nucléaires et les centrales nucléaires. Plus de 95 % de la dose moyenne d'irradiation à laquelle les Canadiens sont exposés à l'heure actuelle provient de sources médicales et naturelles (Johnson et Tutiah, 1985). La figure 41 donne les pourcentages d'exposition par source.

Sur le plan de la santé, le cancer constitue la principale inquiétude associée à l'exposition à la radioactivité (UNSCEAR, 1977). Des recherches ont démontré que le risque de cancer est plus élevé lorsque l'exposition à la radioactivité augmente. Toutefois, l'exposition aux sources naturelles de radioactivité, c'est-à-dire la radioactivité « de fond », est chose courante. C'est pourquoi on compare toujours aux niveaux de fond la radioactivité d'origine anthropique (p. ex., les radiographies ou les retombées radioactives).

De 1945 à 1962, les États-Unis, l'U.R.S.S. et la Grande-Bretagne ont effectué 356 essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère (UNSCEAR, 1982). Ces essais ont pris fin en 1962, et le Traité sur l'interdiction des essais nucléaires a été mis en vigueur en 1963. De 1960 à 1980, la

**Figure 41**
**Pourcentage de la dose d'irradiation en fonction de la source**




Source : Énergie atomique du Canada Ltée, 1985.

Chine et la France ont effectué 67 essais de ce type (UNSCEAR, 1982).

Comme la majorité des essais nucléaires ont été effectués dans l'hémisphère Nord, celui-ci a reçu trois fois plus de retombées radioactives que l'hémisphère Sud (UNSCEAR, 1982) et la plus grande partie des dépôts a été observée entre 40 et 50° de latitude N (UNSCEAR, 1977). C'est donc dire que, au Canada, les retombées ont été plus abondantes dans la région méridionale du pays.

La figure 42 donne la dose d'irradiation estimative annuelle moyenne mondiale provenant de diverses sources d'exposition (pourcentage des sources naturelles ou de fond). On peut constater que la dose due aux retombées radioactives des essais des armes nucléaires est maintenant inférieure à 1 % des sources naturelles.

En 1986, l'explosion de la centrale nucléaire de Tchernobyl, en U.R.S.S., a alarmé le monde entier, car la radioactivité s'est dispersée sur de vastes régions de l'hémisphère Nord, principalement au-dessus de l'Europe. Cette explosion a eu très peu d'effets sur le niveau de radioactivité dans l'atmosphère au-dessus du Canada; elle a causé une légère augmentation temporaire du niveau de la radioactivité mesurée à l'échelle du pays, mais la radioactivité s'est vite dispersée et la situation est rapidement revenue à la normale.

À l'heure actuelle, au Canada, l'exposition à la radioactivité atmosphérique correspond à moins de 0,2 % de l'exposition mesurée pendant les années où les essais des armes nucléaires dans l'atmosphère ont atteint leur maximum. La radioactivité actuellement détectée dans l'atmosphère provient presque entièrement de sources naturelles, et les concentrations de radionucléides comme le césium-137 sont en-deçà de la limite de détection.

**Figure 42**
**Tendances des doses d'irradiation de diverses sources, 1945–1980**

Source : UNSCEAR, 1982.

Remarque : Les doses annuelles mondiales sont exprimées en pourcentage de l'exposition moyenne aux sources naturelles.

## Références


Barrie, L.A. 1985. Atmospheric particles—their physical/chemical characteristics and deposition processes relevant to the chemical composition of glaciers. Annals of Glaciology, 7:100–108.

Barrie, L.A. 1986. Arctic air pollution: An overview of current knowledge. Atmospheric Environment, 20:643–663.

Barrie, L.A., D. Fisher et R.M. Kœrner. 1985. Twentieth century trends in Arctic air pollution revealed by conductivity and acidity observations in snow and ice in the Canadian High Arctic. Atmospheric Environment, 19:2055–2063.

Brydges, T.G. 1986. Air pollution measurements and effects research: A perspective on aquatics. Présenté à l'occasion du 2nd Symposium and Workshop on Acid Forming Emissions in Alberta and their Ecological Effects, 13–15 mai, Calgary.

Brydges, T.G. 1988. Canadian position on acid rain control. Présenté à l'occasion du 3rd Chemical Congress of North America, juin, Toronto.

Dillon, P.J., D.S. Jeffries, W.A. Scheider et N.D. Yan. 1980. Some aspects of acidification in southern Ontario. Pages 212–213 dans « Proceedings of the International Conference on the Ecological Impact of Acid Precipitation », D. Drablos et A. Tollan (réd.), Norvège.

Dillon, P.J., R.A. Reid et R. Girard. 1986. Changes in the chemistry of lakes near Sudbury, Ontario following reductions of $SO_2$ emissions. Water, Air, and Soil Pollution, 31:59–65.

Énergie atomique du Canada Ltée. 1985. Le rayonnement fait partie de la vie. Série information nucléaire. Établissement de recherche nucléaire de Whiteshell. WNRE 1–501, mars, Pinawa.

Environnement Canada. 1984. La brume arctique. Fiche d'information. Service de l'environnement atmosphérique, Downsview.

Environnement Canada. 1988*a*. Évaluation nationale des ressources en eau de surface en péril fondée sur le potentiel des sols et de la roche en place de réduire l'acidité. Feuillet d'information environnementale, 88–1, Ottawa.

Environnement Canada. 1988*b*. La couche d'ozone. Fiche d'information. Service de l'environnement atmosphérique, Downsview.

Environnement Canada. 1988*c*. Les gaz de l'effet de serre. Fiche d'information. Service de l'environnement atmosphérique, Downsview.

Jeffries, D. 1986. Ionic ratios in surface waters in eastern Canada. Rapport présenté à l'Economic Commission for Europe, Effects of Sulphur in the Environment Work Group, Genève, Suisse.

Johnson, J., et M. Tutiah. 1985. Le rayonnement fait partie de la vie. Série d'information nucléaire. Énergie atomique du Canada Ltée. 40 p.

Mitchell, M. 1957. Visual range in the polar regions with particular reference to the Alaskan Arctic. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, Special Supplement: 195–211.

Service de l'environnement atmosphérique. 1990. The 1990 Canadian long-range transport of air pollutants and acid deposition assessment report: Part 3 – Atmospheric Sciences, Atmospheric Sciences Sub-Group of the Federal/Provincial Research and Monitoring Coordinating Committee (RMCC). Downsview.

Schindler, D.W., K.H. Mills, D.F. Malley, D.L. Findlay, J.A. Shearer, I.J. Davies, M.A. Turner, G.A. Linsey et D.R. Cruikshank. 1985. Long-term ecosystem stress : The effects of years of experimental acidification on a small lake. Science, 228:1395–1401.

UNSCEAR (Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayons ionisants). 1977. Sources et effets des rayonnements ionisants. Rapport à l'Assemblée générale, avec annexes. Nations Unies, New York, NY, 781 p.

UNSCEAR (Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayons ionisants). 1982. Rayonnements ionisants : sources et effets biologiques. Rapport à l'Assemblée générale, avec annexes. Nations Unies, New York, NY, 767 p.

Vena, F. 1989. Communication personnelle, 22 juin, Environnement Canada.

Watt, W.D., C.D. Scott et W.J. White. 1983. Evidence of acidification of some Nova Scotian rivers and its impact on Atlantic salmon, *Salmo salar*. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 40:462–473.

Wetzel, R.G. 1975. Limnology. W.B. Saunders Co., Toronto.

*Chapitre VI*

# Les responsabilités du public et des gouvernements

## La perception du public de la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique n'est pas un phénomène nouveau. Les progrès réalisés dans la lutte contre la pollution de l'air au cours des deux dernières décennies font écho à des perceptions sociales en évolution, dont l'origine remonte aux agitations et aux protestations des années 1960. Les visions initiales d'une croissance illimitée, notamment en matière de techniques de pointe, ont été remises en question. On est devenu de plus en plus conscient qu'un tel régime se traduisait par une perte d'intégrité sur le plan tant

## Les véhicules que nous conduisons

Les types de véhicules les plus courants aujourd'hui sont les voitures particulières et les véhicules utilitaires légers, qui représentent plus de 88 % des véhicules circulant sur les routes. L'industrie de l'automobile a pris les mesures qui s'imposaient afin de fabriquer des véhicules qui ne dégagent pas des quantités excessives de polluants; ainsi, les nouvelles voitures ont, en matière d'émissions, un rendement moyen de l'ordre de 20 à 30 % supérieur à celui des voitures construites selon les normes applicables avant 1987.

De prime abord, on pourrait croire que la pollution par les véhicules automobiles devrait continuer de diminuer grâce à l'épuisement naturel des vieux véhicules, car la majorité des véhicules automobiles actuellement utilisés ont moins de dix ans. Au fur et à mesure que les anciens disparaîtront des routes, le pourcentage de véhicules respectant les normes relatives aux émissions augmentera. Le point faible de ce raisonnement est, bien sûr, que les consignes des fabricants en matière de performance ne sont pas toujours respectées une fois les véhicules automobiles livrés aux consommateurs. Les véhicules automobiles ne sont pas toujours entretenus et réparés de façon adéquate. Dans certains cas, on modifie ou on enlève volontairement les dispositifs antipollution en croyant, à tort, que l'on peut ainsi réduire la consommation d'essence ou accroître la puissance du véhicule (Cope, 1988). En fait, les résultats d'études révèlent que les émissions d'environ 66 % des véhicules en service testés entre 1974 et 1983 ne respectaient pas les normes (Gourley et collab., 1985). L'utilisation d'essence au plomb dans les véhicules conçus pour fonctionner avec de l'essence sans plomb entraîne aussi une augmentation des émissions. Le plomb dans l'essence encrasse rapidement le convertisseur catalytique, lequel perd presque toute son efficacité.

Une façon de remédier au problème des « modifications maison » des dispositifs antipollution et d'amener les automobilistes à utiliser l'essence indiquée pour leur voiture est de mettre en œuvre des programmes de sensibilisation du public. Ensuite, il s'agirait de légiférer de manière à souligner l'importance de mettre fin à ces pratiques. Au Canada, les lois de cette nature sont du ressort provincial et, jusqu'à présent, seuls l'Ontario, le Québec et Terre-Neuve ont adopté une loi interdisant la modification des dispositifs antipollution des véhicules automobiles, bien que la Motor Vehicle Act de la Colombie-Britannique comporte une disposition à cet égard (Cope, 1988). Afin de faire respecter les règlements, on pourrait créer des programmes d'inspection et d'entretien des véhicules prévoyant une vérification périodique de ceux-ci et obligeant les propriétaires de véhicules à faire faire les réparations nécessaires pour que leur permis soit renouvelé. Au Canada, il n'existe aucun programme de vérification et d'entretien de ce type, mais l'Ontario et la Colombie-Britannique envisagent la mise sur pied d'un tel programme.

En 1989, le gouvernement fédéral et la Petroleum Association for the Conservation of the Environment ont lancé une campagne de publicité de deux ans visant à mettre le public en garde contre les dangers de l'utilisation d'essence contre-indiquée et à lui faire valoir les avantages d'un bon entretien des véhicules automobiles. L'objectif de cette campagne était de sensibiliser le public, les concessionnaires de voitures et les mécaniciens au fait qu'il est avantageux de respecter les exigences des fabricants. En outre, le gouvernement fédéral adoptera une réglementation qui interdira toute vente d'essence au plomb dans les stations-service en 1990, ce qui empêchera les consommateurs de faire le plein avec de l'essence contre-indiquée.

de la collectivité que de l'environnement et que l'être humain et son milieu étaient vulnérables à des méfaits comme la pollution atmosphérique. On éprouve maintenant un certain malaise devant les changements atmosphériques qui, si les théories et les prévisions sont exactes, ont été provoqués par la pollution et ce, au détriment de la collectivité dans une large mesure. Et ce qui est encore plus significatif, c'est que des changements d'envergure se sont produits dans l'atmosphère en l'espace d'une génération ou deux seulement.

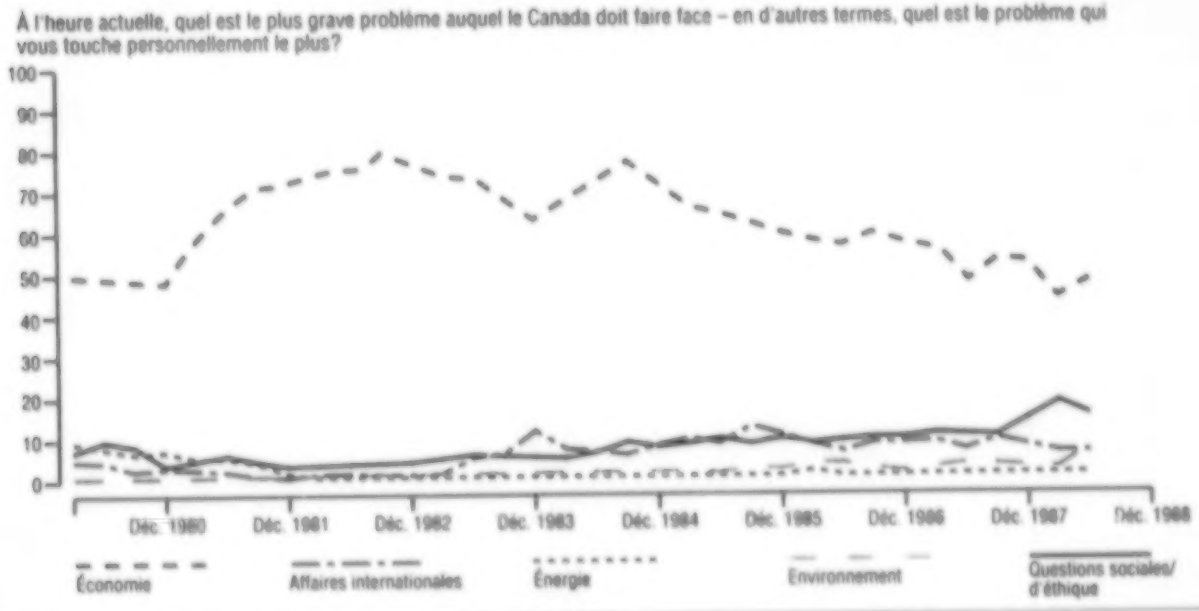
La population et les organismes publics ont un rôle fondamental à jouer dans la lutte contre la pollution atmosphérique. La majorité des formes de pollution de l'air sont directement liées aux consommateurs dont les demandes et les modes de vie ne tiennent pas compte des effets possibles sur l'environnement. Il est indispensable d'obtenir l'appui du public, de lui expliquer les choix qui doivent être faits et de l'amener à s'engager. Les économistes ont aussi un rôle crucial à jouer, car les problèmes environnementaux sont indissociables de l'économie. Il faut trouver des « solutions » économiques, calculer les coûts de la pollution et déterminer à qui il incombera de les payer.

On ne connaît pas toutes les répercussions de la pollution atmosphérique, mais on prévoit que la santé et l'environnement seront touchés. Il n'y a donc pas lieu de s'étonner du fait que des manchettes comme celles qui figurent à la page 4 du présent rapport aient alarmé la population et peut-être créé une certaine confusion, et qu'elles aient poussé le public à réclamer des gouvernements qu'ils prennent les mesures de prévention qui s'imposaient. L'un après l'autre, les sondages d'opinion révèlent que les problèmes écologiques comme la pollution atmosphérique sont prioritaires aux yeux du public. Selon les résultats de l'un de ces sondages, le pourcentage des Canadiens estimant que les problèmes environnementaux du pays étaient plus graves que tous les autres est passé soudainement à 7 % entre mars et juin 1988 (figure 43) (Decima Research, 1988). C'était la première fois que ce pourcentage dépassait 3 % au cours de la décennie. Le sondage a été réalisé avant la Conférence mondiale sur l'atmosphère en évolution tenue à Toronto en juin 1988 et avant l'incendie dans l'entrepôt de biphényles polychlorés (BPC) à Saint-Basile-le-Grand, au Québec, en août 1988.

Les problèmes environnementaux mentionnés dans le sondage d'opinion sont les suivants :

- la pollution atmosphérique
- la dégradation de l'atmosphère de la Terre
- l'élimination des déchets industriels et chimiques
- les pluies acides
- la pollution des lacs et des cours d'eau

**Figure 43**
**Résultats d'un sondage sur les problèmes les plus importants au Canada**




Source : Decima Research, 1988.

- les déversements de substances dangereuses
- la perte de terres à vocation récréative et de forêts-parcs
- la pollution attribuable à l'essence au plomb
- les déversements d'hydrocarbures
- la contamination de l'eau potable
- l'emploi de pesticides et d'engrais chimiques sur les cultures vivrières
- l'affectation de terres arables à des fins autres que l'agriculture
- l'utilisation de pesticides chimiques dans les forêts

## Les règlements fédéraux touchant la pollution par les véhicules automobiles au Canada

Le gouvernement du Canada limite les concentrations de monoxyde de carbone, d'hydrocarbures imbrûlés, d'oxydes d'azote et de matières particulaires qui peuvent être émis par les nouveaux véhicules utilitaires légers vendus au Canada. Il limite également les émissions des mêmes types de polluants produits par les moteurs à grande puissance, comme ceux dont sont dotés les camions et les autobus. Les normes relatives aux émissions des véhicules sont établies par réglementation en vertu de la *Loi sur la sécurité des véhicules automobiles*, qui est administrée par Transports Canada. Ces normes sont en vigueur depuis le 1er janvier 1971. Les fabricants de véhicules automobiles attestent eux-mêmes que leurs véhicules respectent les normes canadiennes et des vérifications sont effectuées dans des laboratoires du gouvernement.

Afin de les rendre conformes à celles des États-Unis, le Canada a modifié ses normes touchant les voitures particulières et les véhicules utilitaires légers construits à partir du 1er septembre 1987 et celles touchant les véhicules utilitaires lourds construits à compter du 1er décembre 1988 (tableau 10). Les normes applicables depuis septembre 1987 devraient entraîner, d'ici 2005, une réduction de 25 % des oxydes d'azote, de 41 % des composés organiques volatils et de 30 % du monoxyde de carbone émis par les véhicules utilitaires légers par rapport aux émissions de 1985. Pour ce qui est des normes applicables depuis décembre 1988 aux véhicules utilitaires lourds, elles devraient avoir pour résultat, d'ici 2005, une diminution de 9 % des hydrocarbures et de 30 % du monoxyde de carbone émis par ce type de véhicules. D'après les prévisions, les émissions d'oxydes d'azote augmenteront en raison d'un accroissement considérable du nombre des véhicules utilitaires lourds à moteur diesel. Les normes touchant ces derniers véhicules et qui sont en vigueur depuis décembre 1988 peuvent permettre de réduire de 15 % respectivement les oxydes d'azote et les matières particulaires émis par ces véhicules. Ces normes touchant les véhicules utilitaires lourds à moteur à essence et ceux à moteur diesel sont comparables aux normes établies pour les véhicules de modèle 1988 en Californie et aux normes qui seront mises en vigueur en 1990 dans le reste des États-Unis.

Les concentrations d'additifs dans l'essence étaient auparavant assujetties aux règlements de la *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique* (administrée par Environnement Canada) et sont actuellement soumises aux dispositions de la nouvelle *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*. L'essence sans plomb est commercialisée au Canada depuis 1971 et la demande est passée d'environ 6 % en 1975 à 45 % en 1983; elle atteignait presque 70 % en mai 1988. La teneur en plomb (additif antidétonant) a été réduite progressivement à sa limite actuelle de 0,29 g/L depuis le 1er janvier 1987. Le gouvernement entend interdire totalement la vente d'essence au plomb à compter du 1er décembre 1990. Une essence à faible teneur en plomb sera toutefois vendue mais de façon restreinte et à des fins spéciales, par exemple, pour les machines agricoles et les bateaux.

Le Canada procédera à une analyse exhaustive des effets de la réglementation afin de déterminer les répercussions, d'une part, de l'adoption des normes américaines relatives aux véhicules utilitaires lourds, dont la mise en vigueur est prévue pour 1994, et d'autre part, d'une réglementation plus rigoureuse touchant les véhicules utilitaires légers et les carburants. Dans le cadre de cette étude, on évaluera les possibilités de réduire les émissions provenant des moteurs à combustion interne, lesquelles contribuent aux pluies acides et à l'augmentation des concentrations d'ozone de la basse troposphère, du dioxyde de carbone et des polluants atmosphériques toxiques.

En outre, cette analyse globale permettra d'examiner les moyens de réduire les émissions provenant des moteurs à combustion interne des motocyclettes, des voitures, des camions, des locomotives et des bateaux ainsi que les émissions des moteurs employés en construction, en agriculture et dans d'autres secteurs. On étudiera aussi les carburants utilisés dans ces moteurs pour déterminer comment, en changeant leurs propriétés et leur composition, on pourra influer sur le type d'émissions qu'ils produisent. Par exemple, des dispositifs antiévaporation peuvent, en été, réduire grandement les pertes d'hydrocarbures des véhicules, lesquelles contribuent à la formation d'ozone de la basse troposphère.

## Tableau 10
## Normes relatives aux émissions des véhicules automobiles au Canada[a]

| Véhicule automobile | Date d'entrée en vigueur | Oxydes d'azote | Monoxyde de carbone | Hydrocarbures | Matières particulaires |
|---|---|---|---|---|---|
| **Voitures** | Jusqu'au 31 août 1987 | 1,93 | 15,54 | 1,24 | AN[f] |
| | À compter du 1er sept. 1987 | 0,62 | 2,11 | 0,25 | 0,12 |
| **Véhicules utilitaires légers** | | | | | |
| MNBV[b] de 0–6 000 lb (0–2 730 kg) | Jusqu'au 31 août 1987 | 1,93 | 15,54 | 1,24 | AN |
| MNBV de 0–8 500 lb (0–3 860 kg) | À compter du 1er sept. 1987 | 0,75[c]/1,1[d] | 6,2 | 0,50 | 0,16 |
| **Véhicules utilitaires lourds** | | | | | |
| MNBV de plus de 6 000 lb (2 730 kg) | De 1975 au 30 nov. 1988 | 5,87[e] | 14,68 | 5,87[e] | AN |
| MNBV de 8 500–14 000 lb (3 860–6 360 kg) | À compter du 1er déc. 1988 | | | | |
| – à moteur à essence | | 2,20 | 5,28 | 0,40 | 0,22 |
| – à moteur diesel | | 2,20 | 5,69 | 0,48 | 0,22 |
| MNBV de 14 000 lb (6 360 kg) et plus | À compter du 1er déc. 1988 | | | | |
| – à moteur à essence | | 2,20 | 13,62 | 0,70 | 0,22 |
| – à moteur diesel | | 2,20 | 5,69 | 0,48 | 0,22 |

[a] Les unités sont exprimées en grammes par kilomètre pour les voitures et les véhicules utilitaires légers et en grammes par mégajoule pour les véhicules utilitaires lourds.
[b] Masse nominale brute du véhicule.
[c] Les normes relatives aux oxydes d'azote s'appliquent aux véhicules dont la masse n'excède pas 1705 kg une fois qu'ils sont chargés.
[d] Les normes relatives aux oxydes d'azote s'appliquent aux véhicules dont la masse est supérieure à 1705 kg une fois qu'ils sont chargés.
[e] Total des émissions d'oxydes d'azote et d'hydrocarbures en grammes par mégajoule.
[f] AN = aucune norme.

### Les polluants atmosphériques ayant fait l'objet de directives nationales en matière d'émission en vertu de la *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique* *

| Polluants | Champ d'application |
|---|---|
| Matières particulaires | • Cimenteries |
| Matières particulaires | • Industrie du revêtement d'asphalte |
| Matières particulaires et anhydride sulfureux | • Fabricants de coke métallurgique |
| Matières particulaires, chlorure d'hydrogène et anhydride sulfureux | • Exploitation minières dans l'Arctique |
| Matières particulières, chlorure d'hydrogène et anhydride sulfureux | • Incinérateurs compacts** |
| Matières particulaires, composés de soufre entièrement réduits et anhydride sulfureux | • Fabrication de la pâte de bois (nouvelles sources fixes) |
| Oxydes d'azote, matières particulaires et anhydride sulfureux | • Centrales thermiques (nouvelles sources fixes) |

* En 1988, on adoptait la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, qui intégrait la *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique*.

** Toute installation servant à l'incinération des déchets et dont la capacité maximale n'excède pas 900 kg de déchets à l'heure.

### Les polluants atmosphériques toxiques réglementés en vertu de la *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique* *

| Polluants | Champ d'application | Effets sur les êtres humains |
|---|---|---|
| Plomb | Fonderie de plomb de seconde fusion | • Lésions neurologiques chez les enfants<br>• Réduction de la production d'hémoglobine<br>• Lésions néphrotiques<br>• Augmentation du taux de mortalité |
| Mercure | Usines de chlore-alcalis à cellule à mercure | • Lésions neurologiques |
| Amiante | Mines et usines de broyage | • Formation de tumeurs |
| Chlorure de vinyle | Usines de chlorure de vinyle et de chlorure de polyvinyle | • Forme rare du cancer du foie |

* En 1988, on adoptait la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, qui intégrait la *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique*.

D'après les résultats du sondage, la grande majorité des Canadiens croient que les problèmes environnementaux influent sur leur santé et sur celle de leur famille. Parmi les 13 points touchant l'environnement, ce sont la qualité de l'eau, la gestion des déchets et la qualité de l'air qui ont suscité le plus de préoccupations chez les Canadiens. Cependant, c'est la pollution atmosphérique qui a été associée le plus directement aux préoccupations générales touchant la qualité de l'environnement et la santé.

L'opinion publique face aux rapports environnement–croissance économique a changé de façon marquée depuis les années 1960. Selon les résultats d'un autre sondage, 83 % des Canadiens croient actuellement que la croissance économique et la protection de l'environnement ne sont pas en rapport conflictuel, perception qui a mené à la notion de « développement durable ».

Depuis les deux dernières années, les responsabilités en matière de protection de l'environnement sont perçues différemment : la population croit à présent qu'elle a un rôle plus important à jouer à cet égard, mais elle estime tout de même que ces responsabilités incombent principalement aux divers paliers de gouvernement.

## Les règlements sur la pollution atmosphérique

Avant les années 1970, on ne disposait pas de lois et règlements nationaux adéquats ni de mécanisme efficace pour coordonner les efforts fédéraux et provinciaux dans la lutte contre la pollution de l'air, et les lois et règlements provinciaux et municipaux variaient d'une région à l'autre (Powell et Wharton, 1982). Au Canada, les pouvoirs du gouvernement fédéral en matière de lutte contre la pollution atmosphérique se fondaient, dans une large mesure, sur les domaines relevant de sa compétence exclusive en vertu de la Constitution de 1867, en l'occurrence, la navigation et le transport, les ports publics, les chemins de fer, les travaux publics et les sociétés d'État. Pour leur part, les gouvernements provinciaux s'attaquaient à la pollution atmosphérique causée par les industries et les entreprises commerciales situées dans les limites de leur territoire. La pollution entraînée par les émissions de fumées et d'autres produits de combustion constituait la principale préoccupation des deux paliers de gouvernement. Les vapeurs soufrées provenant des fonderies, des usines de pâtes et des raffineries de pétrole, l'hydrogène sulfuré libéré pendant l'exploitation du gaz naturel, les hydrocarbures de l'industrie pétrochimique, la poussière produite pendant la fabrication du fer et de l'acier, et les divers polluants libérés pendant l'incinération des déchets constituaient autant de problèmes qui devaient être réglés par les autorités provinciales et municipales.

**Chronologie de certains événements d'importance en matière de pollution atmosphérique**

| | |
|---|---|
| 1872 | Le terme « acid rain » (pluie acide) est employé pour la première fois en Angleterre. |
| 1920–1930 | Mise au point des chlorofluorocarbures |
| 1952 | Première observation de pollution atmosphérique dans l'Arctique |
| 1952 | 4000 cas de morts prématurées de plus que la normale causées par la pollution atmosphérique à Londres, en Angleterre |
| 1958 | Première loi visant la lutte contre la pollution atmosphérique adoptée au Canada (Ontario) |
| 1962 | La question des pluies acides est abordée par le représentant de la Suède à l'occasion d'une conférence des Nations Unies (Stockholm) |
| 1971 | Création d'Environnement Canada |
| 1971 | Adoption de la *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique* |
| 1973 | Première crise pétrolière mondiale |
| 1974 | Introduction de l'essence sans plomb |
| 1975 | Établissement de normes relatives aux émissions provenant des véhicules utilitaires légers |
| 1976 | Réduction de la teneur en plomb de l'essence au plomb |
| 1978 | Deuxième crise pétrolière mondiale |
| 1980 | Mémoire d'entente Canada–États-Unis sur la pollution atmosphérique transfrontière |
| 1982 | Objectif relatif aux dépôts de sulfate fixé à 20 kg/ha |
| 1984 | Engagement des gouvernements fédéral et provinciaux touchant la réduction des émissions d'anhydride sulfureux dans l'est du Canada |
| 1985 | Signature d'un protocole international en vue de la réduction des émissions d'anhydride sulfureux |
| 1986 | Convention de Vienne sur la protection de la couche d'ozone |
| 1987 | Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone |
| 1987 | Établissement de normes plus rigoureuses touchant les émissions des véhicules utilitaires légers |
| 1987 | Nouvelle réduction de la teneur en plomb de l'essence au plomb |
| 1988 | Adoption de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* |
| 1988 | Mise en vigueur de normes relatives aux émissions des véhicules utilitaires lourds |
| 1988 | Conférence mondiale sur l'atmosphère en évolution, tenue à Toronto |
| 1988 | Signature d'un protocole international relatif aux oxydes d'azote |

Au début des années 1970, on a reconnu l'importance de coordonner les activités fédérales et provinciales en matière de lutte contre la pollution atmosphérique. En 1970, on a adopté la *Loi sur la sécurité des véhicules automobiles* pour réglementer les émissions provenant de tous les nouveaux véhicules automobiles, et des incitations fiscales destinées à réduire ou à prévenir la contamination de l'air ont été créées en vertu d'un règlement de la *Loi de l'impôt sur le*

*revenu*. En 1971, on a adopté la *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique* et, la même année, le ministère fédéral de l'Environnement a été créé. La *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique* visait à encourager l'uniformisation des règlements, à aider les gouvernements provinciaux à élaborer des lois et règlements et des programmes antipollution, et à conférer au gouvernement fédéral le pouvoir de protéger la santé de la population, de réglementer la composition des combustibles et de rassembler des renseignements sur les sources de pollution atmosphérique au Canada.

De 1971 à 1988, on a eu recours à la *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique* pour établir des règlements nationaux en matière d'émissions de polluants atmosphériques provenant de sources fixes, des directives nationales relatives aux émissions des sources fixes et des sources mobiles (que les provinces peuvent appliquer), des objectifs nationaux en matière de qualité de l'air ambiant et des règlements sur la composition des combustibles. Les émissions des véhicules automobiles ont été réglementées en vertu de la *Loi sur la sécurité des véhicules automobiles*.

Avant 1988, l'autorité législative en matière de protection de l'environnement était prévue par des dispositions d'un certain nombre de lois fédérales touchant l'environnement. Le 30 juin 1988, on a promulgué la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE), qui englobe les dispositions relatives à la protection de l'environnement de la *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique* et de quatre autres lois, et investit les autorités compétentes de pouvoirs supplémentaires en matière de lutte contre la pollution. La LCPE vise divers milieux : elle ne limite pas les compétences gouvernementales à un seul élément de l'environnement comme l'air. Elle reflète plutôt la nécessité d'empêcher que des substances pénètrent dans l'environnement en général si elles risquent d'être dommageables pour une composante quelconque du milieu. En outre, contrairement à la *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique*, la LCPE est axée sur la protection tant de la santé que de l'environnement. Tous les règlements, directives, objectifs et codes de pratiques mis en vigueur de 1971 à 1988 en vertu de la *Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique* ont été incorporés à la LCPE.

Une liste de 44 substances, la « Liste des substances d'intérêt prioritaire », a été publiée en février 1989 en vertu de la LCPE (Environnement Canada, 1989). Elle a été dressée à partir d'une liste de substances candidates recommandées par un comité consultatif chargé de conseiller à cet égard les ministres fédéraux de l'Environnement et de la Santé et du Bien-être social. On y énumère les substances susceptibles d'être nocives pour la santé et l'environnement, qu'il s'agisse de polluants atmosphériques, de polluants de l'eau ou de déchets, et ces matières devront être évaluées de façon prioritaire au cours des cinq prochaines années. L'évaluation vise à déterminer si une substance est « toxique » selon la définition de ce terme dans la Loi (c.-à-d. si une substance est de nature à constituer un danger tant pour l'environnement que pour la vie et la santé des êtres humains) et si elle pénètre actuellement ou risque de pénétrer dans l'environnement. Un grand nombre des substances énumérées constituent des classes de composés, de sorte que la liste englobe, en réalité, des centaines de composés distincts, dont bon nombre sont des polluants atmosphériques. En outre, comme la liste des substances d'intérêt prioritaire de la LCPE ne mentionne pas tous les polluants atmosphériques toxiques, le Comité consultatif fédéral-provincial sur la qualité de l'air, qui conseille les ministres fédéral et provinciaux de l'Environnement en matière de pollution atmosphérique, a été chargé d'étudier particulièrement les polluants atmosphériques toxiques au Canada et de relever ceux qui sont d'intérêt prioritaire.

## Conclusions

Pourquoi l'air est-il si pollué aujourd'hui? En partie à cause de la négligence et de l'inaction dont on a fait preuve pendant longtemps face à des problèmes évidents, en partie à cause du fait que les répercussions prévues des polluants sur l'environnement ne se manifestent fréquemment que plusieurs décennies plus tard, et en partie parce que les outils nécessaires pour déceler et régler les problèmes complexes — techniques de mesure sensibles et dispositifs antipollution sophistiqués — n'ont été mis au point qu'au cours des vingt dernières années. Par exemple, c'est plus de 50 ans après l'apparition des voitures sur le marché que des dispositifs permettant de limiter les émissions dans les gaz d'échappement ont été mis au point et que la science de la chimie atmosphérique a progressé suffisamment pour que l'importance de cette forme de pollution puisse être reconnue. Il y a moins de 15 ans, même si les scientifiques savaient que les gaz stratosphériques contribuaient à limiter les rayons ultraviolets atteignant la Terre, ils ne soupçonnaient pas que l'intégrité de ces gaz était menacée par les CFC, qui ont été couramment utilisés dans les réfrigérateurs à partir des années 1940. En Europe, au début des années 1960, et en Amérique du Nord, dix ans plus tard, des scientifiques ont observé que la pluie devenait plus acide et ont prévu les effets de cette acidité sur les arbres, les sols et les eaux de surface. Toutefois, il a fallu des années de recherche pour trouver les causes exactes de l'acidification et pour convaincre un public plutôt sceptique de la gravité du problème. Depuis 1958, des chercheurs surveillent la teneur en dioxyde de carbone de l'atmosphère dans des zones éloignées de diverses régions du monde (Bacastow et Keeling, 1981). Ils ont constaté que les concentrations de dioxyde de carbone augmentaient de façon continue et ont

prédit qu'un tel phénomène aurait pour résultat un réchauffement global de l'atmosphère, ce qui toucherait toutes les nations du monde.

Toutes ces études ont été entreprises par des scientifiques curieux d'en savoir plus long, mais les résultats des recherches ont étayé les prévisions de ces pionniers quant aux transformations majeures de l'environnement, et l'ensemble de la communauté scientifique reconnaît maintenant la validité de ces prévisions. La nécessité de régler ces problèmes a pris de l'importance sur le plan politique. Les questions écologiques sont jugées prioritaires par les gouvernements, et l'on marque des progrès vers la solution des problèmes causés par la pollution atmosphérique.

## Références


Bacastow, R., et C.D. Keeling. 1981. Atmospheric carbon dioxide concentration and the observed airborne fraction. Pages 103–112 dans « Carbon Cycle Modelling », B. Bolin (réd.). SCOPE 16, Wiley, Chichester.

Cope, D. 1988. L'altération des dispositifs antipollution des véhicules automobiles. Rapport SPE 2/TS/6, Environnement Canada, Ottawa.

Decima Research. 1988. The Decima quarterly report: Public affairs trends. Executive summary. Été 1988. Volume IX, n° 2.

Environnement Canada. 1989. Le gouvernement fédéral imposera des normes plus rigoureuses pour tous les moteurs à combustion interne. Communiqué, 20 avril, Ottawa.

Gourley, D., D. Cope, R. Solman et V. Shantora. 1985. Recommandations pour la réduction des émissions des véhicules légers en service. Rapport n° IP–34 de la Direction des programmes industriels, Environnement Canada, Ottawa.

Powell, R.J., et L.M. Wharton. 1982. Development of the Canadian Clean Air Act. Journal of the Air Pollution Control Association, 32:62–65.

## Les Rapports sur l'état de l'environnement

N° 89–1 : **Les polluants dans le milieu marin de la Colombie-Britannique – Rapport sur l'état des connaissances.** B.H. Kay. Protection de l'environnement, région du Pacifique et du Yukon, Environnement Canada. 1989.

N° 89–2 : **La nature aux abois – Les espèces menacées de disparition au Canada.** J.A. Burnett, C.T. Dauphiné Jr., S.H. McCrindle et T. Mosquin. Service canadien de la faune, Environnement Canada. 1989.

N° 90-1 : **Perspective canadienne sur la pollution atmosphérique.** J.Hilborn et M. Still. État de l'environnement et Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada. 1990.